

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра электроэнергетики и электротехники**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И. Луковникова

«\_\_\_\_\_» декабря 201\_\_ г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**СПЕЦ ИЗМЕРЕНИЯ**

Б1.В.ДВ.06.02

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Электроснабжение**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ</b>	
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....	4
	5
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	9
4.3 Лабораторные работы.....	28
4.4 Семинары / практические занятия.....	28
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	28
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>29</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>29</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>29</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>30</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>30</b>
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/ семинаров / практических работ .....	30
9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата .....	
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>34</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>35</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	<b>36</b>
	43
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>44</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>45</b>
<b>Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....</b>	<b>45</b>

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к научно-исследовательскому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Формирование знаний и умений, необходимых для квалифицированного метрологического обеспечения процессов производства и потребления электроэнергии. Электроэнергетика опирается на измерения электрических величин. Огромный объем информации о режимах электроэнергетических объектов станет доступным и полезным только при условии правильности проведения измерений и обеспечения их единства.

## Задачи дисциплины

Использовать технические средства для измерения основных параметров электроэнергетических и электротехнических объектов и систем и происходящих в них процессов. Знать основные принципы измерений, характеристики и свойства измерительной техники, методы измерения электрических величин.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ПК-2	способность обрабатывать результаты экспериментов	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– математические модели основных физических явлений и законов, положенные в основу работы электроизмерительных приборов;</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выявлять физическую сущность явлений и процессов в электроизмерительных устройствах и выполнять применительно к ним технические расчеты;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами анализа физических явлений в электроизмерительных устройствах и системах</li> </ul>
ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные физические явления и законы, положенные в основу работы электроизмерительных приборов и их математическую модель;</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять методы измерения физических величин при решении инженерных задач;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методиками выполнения измерений, анализа физических явлений в электроизмерительных устройствах и системах</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.02 Спец измерения относится к вариативной части.

Дисциплина Спец измерения базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как: Теоретические основы электротехники, Электротехническое и конструкционное материаловедение, Электроника, Электрические и электронные аппараты.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Спец измерения представляет основу для изучения таких дисциплин, как: Техника высоких напряжений, Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения, Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий, Эксплуатация систем электроснабжения.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

## 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	2	4	108	54	18	-	36	54	-	зачет
Заочная	4	-	108	14	4	-	10	90	-	зачет
Заочная (ускоренное обучение)	2	-	108	10	4	-	6	94	-	зачет
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			4
1	2	3	4
I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)	54	15	54
Лекции (Лк)	18	10	18

Практические занятия (ПЗ)	36	5	36
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	54	-	54
Подготовка к практическим занятиям	36	-	36
Подготовка к зачету	18	-	18
<b>III. Промежуточная аттестация зачет</b>	+	-	+
Общая трудоемкость дисциплины, час.	108	-	108
зач. ед.	3	-	3

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1.</b>	<b>Аналоговые измерительные приборы</b>	<b>32</b>	<b>4,5</b>	<b>-</b>	<b>14</b>	<b>13,5</b>
1.1.	Магнитоэлектрические приборы: принцип работы и устройство магнитоэлектрического измерительного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение магнитоэлектрических приборов.	13	1,5	-	7	4.5
1.2.	Электромагнитные приборы: принцип работы и устройство электромагнитного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение электромагнитных приборов.	13	1,5	-	7	4.5
1.3.	Электро- и ферродинамические приборы: использование измерительных цепей. Ваттметры в цепях постоянного и переменного тока.	6	1,5	-	-	4.5
<b>2.</b>	<b>Измерительные преобразователи</b>	<b>30</b>	<b>4,5</b>	<b>-</b>	<b>12</b>	<b>13,5</b>
2.1.	Виды масштабных измерительных преобразователей. Внутренние и наружные шунты и их использование.	12	1.5	-	6	4.5
2.2.	Добавочные резисторы и делители напряжения.	6	1.5	-	-	4.5
2.3.	Измерительные трансформаторы напряжения и тока.	12	1.5	-	6	4.5
<b>3.</b>	<b>Электронные аналоговые приборы</b>	<b>28</b>	<b>4,5</b>	<b>-</b>	<b>10</b>	<b>13,5</b>
3.1.	Функциональная схема электронного аналогового прибора (ЭАИП) и его метрологические возможности. Устройство и применение выпрямительных приборов.	6	1,5	-	-	4.5

	Использование информации при измерении несинусоидальных величин. Электронные вольтметры переменного и постоянного тока.					
3.2.	Электронные ваттметры и счетчики электрической энергии.	16	1,5	-	10	4,5
3.3.	Функциональная схема цифровых измерительных приборов (ЦИП). Электронные узлы ЦИП. Цифровые измерители интервалов времени и цифровые частотомеры. Вольтметры последовательного счета.	6	1,5	-	-	4,5
<b>4.</b>	<b>Измерение мощностей в трехфазных электрических сетях</b>	12	3	-	-	9
4.1.	Измерение активной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях	6	1,5	-	-	4,5
4.2.	Измерение реактивной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях	6	1,5	-	-	4,5
<b>5.</b>	<b>Информационно-измерительные системы</b>	6	1,5	-	-	4,5
5.1.	Понятие об информационно-измерительных системах (ИИС). Использование ИИС в электроэнергетике.	6	1,5	-	-	4,5
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>18</b>	<b>-</b>	<b>36</b>	<b>54</b>

**- для заочной формы обучения:**

<i>№ раздела и темы</i>	<i>Наименование раздела и тема дисциплины</i>	<i>Трудоемкость, (час.)</i>	<i>Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)</i>			
			<i>учебные занятия</i>			<i>самостоятельная работа обучающихся*</i>
			<i>лекции</i>	<i>лабораторные работы</i>	<i>практические занятия</i>	
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>1.</b>	<b>Аналоговые измерительные приборы</b>	<b>23,5</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>22,5</b>
1.1.	Магнитоэлектрические приборы: принцип работы и устройство магнитоэлектрического измерительного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение магнитоэлектрических приборов.	7,83	0,33	-	-	7,5
1.2.	Электромагнитные приборы: принцип работы и устройство электромагнитного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение электромагнитных приборов.	7,83	0,33	-	-	7,5
1.3.	Электро- и ферродинамические приборы: использование измерительных цепей. Ваттметры в цепях постоянного и переменного тока.	7,84	0,34	-	-	7,5
<b>2.</b>	<b>Измерительные преобразователи</b>	<b>29,5</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>22,5</b>

2.1.	Виды масштабных измерительных преобразователей. Внутренние и наружные шунты и их использование.	10,83	0,33	-	3	7,5
2.2.	Добавочные резисторы и делители напряжения.	7,83	0,33	-	-	7,5
2.3.	Измерительные трансформаторы напряжения и тока.	10,84	0,34	-	3	7,5
<b>3.</b>	<b>Электронные аналоговые приборы</b>	<b>27,5</b>	<b>1</b>	-	<b>4</b>	<b>22,5</b>
3.1.	Функциональная схема электронного аналогового прибора (ЭАИП) и его метрологические возможности. Устройство и применение выпрямительных приборов. Использование информации при измерении несинусоидальных величин. Электронные вольтметры переменного и постоянного тока.	7,83	0,33	-	-	7,5
3.2.	Электронные ваттметры и счетчики электрической энергии.	11,83	0,33	-	4	7,5
3.3.	Функциональная схема цифровых измерительных приборов (ЦИП). Электронные узлы ЦИП. Цифровые измерители интервалов времени и цифровые частотомеры. Вольтметры последовательного счета.	7,84	0,34	-	-	7,5
<b>4.</b>	<b>Измерение мощностей в трехфазных электрических сетях</b>	<b>15,66</b>	<b>0,66</b>	-	-	<b>15</b>
4.1.	Измерение активной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях	7,83	0,33	-	-	7,5
4.2.	Измерение реактивной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях	7,83	0,33	-	-	7,5
<b>5.</b>	<b>Информационно-измерительные системы</b>	<b>7,84</b>	<b>0,34</b>	-	-	<b>7,5</b>
5.1.	Понятие об информационно-измерительных системах (ИИС). Использование ИИС в электроэнергетике.	7,84	0,34	-	-	7,5
<b>ИТОГО</b>		<b>104</b>	<b>4</b>	-	<b>10</b>	<b>90</b>

- для заочной формы обучения (ускоренное обучение):

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1.</b>	<b>Аналоговые измерительные приборы</b>	<b>25</b>	<b>1</b>	-	-	<b>24</b>
1.1.	Магнитоэлектрические приборы: принцип работы и устройство магнитоэлектрического	8,33	0,33	-	-	8

	измерительного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение магнитоэлектрических приборов.					
1.2.	Электромагнитные приборы: принцип работы и устройство электромагнитного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение электромагнитных приборов.	8,33	0,33	-	-	8
1.3.	Электро- и ферродинамические приборы: использование измерительных цепей. Ваттметры в цепях постоянного и переменного тока.	8,34	0,34	-	-	8
<b>2.</b>	<b>Измерительные преобразователи</b>	<b>29</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>24</b>
2.1.	Виды масштабных измерительных преобразователей. Внутренние и наружные шунты и их использование.	10,33	0,33	-	2	8
2.2.	Добавочные резисторы и делители напряжения.	8,33	0,33	-	-	8
2.3.	Измерительные трансформаторы напряжения и тока.	10,34	0,34	-	2	8
<b>3.</b>	<b>Электронные аналоговые приборы</b>	<b>27</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>24</b>
3.1.	Функциональная схема электронного аналогового прибора (ЭАИП) и его метрологические возможности. Устройство и применение выпрямительных приборов. Использование информации при измерении несинусоидальных величин. Электронные вольтметры переменного и постоянного тока.	8,33	0,33	-	-	8
3.2.	Электронные ваттметры и счетчики электрической энергии.	10,33	0,33	-	2	8
3.3.	Функциональная схема цифровых измерительных приборов (ЦИП). Электронные узлы ЦИП. Цифровые измерители интервалов времени и цифровые частотомеры. Вольтметры последовательного счета.	8,34	0,34	-	-	8
<b>4.</b>	<b>Измерение мощностей в трехфазных электрических сетях</b>	<b>14,66</b>	<b>0,66</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>14</b>
4.1.	Измерение активной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях	8,33	0,33	-	-	8
4.2.	Измерение реактивной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях	8,33	0,33	-	-	8
<b>5.</b>	<b>Информационно-измерительные системы</b>	<b>8,34</b>	<b>0,34</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8</b>
5.1.	Понятие об информационно-измерительных системах (ИИС). Использование ИИС в электроэнергетике.	8,34	0,34	-	-	8
	<b>ИТОГО</b>	<b>104</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>6</b>	<b>94</b>



## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

### Раздел 1. Аналоговые измерительные приборы

#### Тема 1.1. Магнитоэлектрические приборы: принцип работы и устройство магнитоэлектрического измерительного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение магнитоэлектрических приборов.

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с разбором конкретных ситуаций (2 часа).

##### 1. Принцип работы и устройство измерительного механизма.

Работа магнитоэлектрического механизма основана на взаимодействии проводника с током с магнитным полем постоянного магнита.

Один из возможных вариантов конструкции механизма представлен на рисунке 2.4.

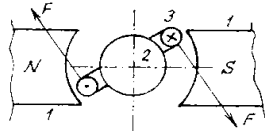


Рисунок 1. - Устройство магнитоэлектрического механизма

Неподвижная часть механизма содержит постоянный магнит (1) (на рис. 1 показаны лишь его полюса, имеющие цилиндрическую выточку) и сердечник 2 цилиндрической формы из магнитомягкого материала. Сердечник располагается соосно с полюсами магнита так, чтобы зазор между ним и полюсами был одинаков. Благодаря этому магнитное поле в зазоре является равномерным. Подвижную часть механизма образует измерительная рамка, выполненная медным изолированным проводом на прямоугольном алюминиевом каркасе. Рамка помещена в зазоре магнитной системы и может свободно поворачиваться в нем в пределах некоторого угла (обычно  $90^\circ$ ). В зависимости от требуемой чувствительности и точности крепления рамки возможно на кернах, на растяжках или на подвесе.

Противодействующий момент создают упругие элементы - растяжки или спиральные пружины (на рис. 1 не показаны). Через них осуществляется также и подвод тока к измерительной рамке. К ней крепятся указатель и противовесы.

Успокоение здесь магнитоиндукционное. При движении рамки в ее каркасе индуцируются токи, взаимодействие которых с полем магнита создает успокаивающий момент.

##### 2. Уравнение преобразования.

Сила  $F$ , действующая на каждую из активных сторон рамки, равна:  $F = Bl\omega I$ ,

где  $B$  - индукция магнитного поля,

$l$  - длина рамки,

$I$  - величина тока,

$\omega$  - число витков.

Вращающий момент:  $M = 2 \cdot F \cdot \frac{a}{2} = B\omega a l I$ ,

где  $a$  - ширина рамки, т.е. диаметр траектории ее вращения.

Поскольку  $l \cdot a = s$  - площадь рамки, то выражение для момента приобретает вид

$$M = B s \omega I,$$

Движение подвижной части механизма с указателем прекратится, когда вращающий момент будет уравновешен противодействующим моментом:

$$B s \omega I = W \alpha$$

откуда

$$\alpha = \frac{B s \omega}{W} I = S_i I$$

где  $S_i = \frac{B s \omega}{W}$  - чувствительность механизма к току.

##### 3. Особенности и свойства.

О некоторых свойствах магнитоэлектрических приборов можно судить по виду уравнения преобразования. Величины, определяющие чувствительность ( $B, s, \omega, W$ ), - величины постоянные, следовательно зависимость угла отклонения указателя от тока линейная, а шкала прибора равномерная.

Изменение направления тока изменяет и знак вращающего момента, поэтому приборы с односторонними шкалами требуют соблюдения полярности их подключения.

Если по измерительной цепи протекает переменный ток очень низкой частоты, указатель будет колебаться около нулевой отметки. Если же частота тока значительно больше частоты собственных колебаний подвижной части (что обычно и имеет место), указатель при любой величине тока будет находиться на нулевой отметке.

При пульсирующем токе, когда он содержит как постоянную, так и переменную составляющие, отклонение указателя определяется средним значением момента, который, в свою очередь, создается средним же значением тока, т.е. его постоянной составляющей. Таким образом, магнитоэлектрические приборы являются *приборами среднего значения*.

Благодаря сильному магнитному полю и применению упругих элементов с малым противодействующим моментом чувствительность магнитоэлектрических приборов может быть очень высокой. В частности, магнитоэлектрическими гальванометрами возможно измерение токов порядка  $10^{-9}$  А. Высокая точность магнитоэлектрических приборов обусловлена стабильностью величин, определяющих чувствительность  $S_I$ . Достижимый класс точности таких приборов 0,1.

К числу достоинств приборов этой группы следует отнести также малую потребляемую мощность. Недостатком приборов является низкая перегрузочная способность, обусловленная возможным перегревом упругих элементов с последующим изменением удельного противодействующего момента.

#### Применение.

Основная область применения магнитоэлектрических приборов – измерение постоянных токов и напряжений.

При измерении тока измерительная цепь (рамка) прибора включается последовательно. Максимальная величина измеряемого тока у таких приборов прямого включения обычно не превышает 10мА. Для измерения больших токов их используют с масштабными преобразователями – шунтами.

Для измерения напряжения последовательно с рамкой включают добавочный резистор  $R_0$ . Ток, протекающий по измерительной цепи в этом случае:

$$I_V = \frac{U_x}{R_H + R_0}$$

где  $R_H$  - сопротивление измерительной рамки.

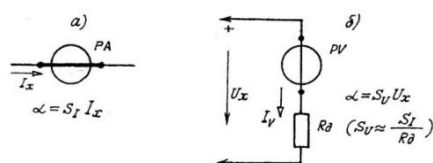


Рисунок 2. – Измерительные цепи амперметра (а) и вольтметра (б)

Угол отклонения указателя

$$\alpha = S_I I_V = \frac{S_I}{R_H + R_0} U_x = S_V U_x$$

где  $S_V = \frac{S_I}{R_H + R_0}$  - чувствительность к напряжению.

Выражение свидетельствует, что шкала прибора может быть градуирована в единицах напряжения.

В большинстве случаев  $R_0 \gg R_H$ , и требуемую его величину можно определять как

$$R_0 = \frac{U_N}{I_{полн}}$$

где  $U_N$  - предел измерения вольтметра,  $I_{полн}$  - ток полного отклонения механизма.

В многопредельных вольтметрах имеется цепочка из нескольких последовательно включенных резисторов, снабженных переключателем.

Благодаря высокой чувствительности, точности, равномерной шкале магнитоэлектрические приборы находят применение также при измерении разнообразных величин с измерительными преобразователями, преобразующими эти величины в постоянный ток.

### Тема 1.2. Электромагнитные приборы: принцип работы и устройство электромагнитного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение электромагнитных приборов.

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с разбором конкретных ситуаций (2 часа).

#### 1. Принцип и устройство измерительного механизма.

Работа механизма основана на взаимодействии подвижного ферромагнитного сердечника с магнитным полем катушки, по которой протекает измеряемый ток. На рис. 1 представлен один из возможных вариантов конструкции электромагнитного механизма.

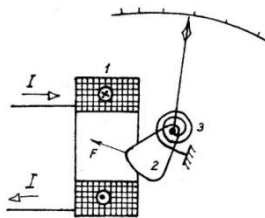


Рисунок 1 – Электромагнитный механизм

Неподвижную часть механизма образует катушка 1, по которой протекает измеряемый ток. Подвижная часть представляет собой сердечник 2, имеющий форму лепестка и изготовленный из магнитомягкого материала. Лепесток может свободно поворачиваться на кернах или растяжках. Противодействующий момент создают упругие элементы – растяжки или спиральная пружина 3. При прохождении тока через катушку возникает магнитное поле, сердечник намагничивается и втягивается в зазор катушки.

*Уравнение преобразования.*

Энергия магнитного поля катушки при постоянном токе

$$W_{\text{эм}} = L \frac{I^2}{2}$$

где L - индуктивность катушки.

Вращающий момент в соответствии с формулой 2.1

$$M = \frac{\partial W_{\text{эм}}}{\partial \alpha} = \frac{I^2}{2} \cdot \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

Приравняв вращающий и противодействующий моменты, имеем

$$\alpha = \frac{I^2}{2W} \cdot \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

Поскольку момент пропорционален квадрату тока, его направление не зависит от направления тока, следовательно, в отличие от магнитоэлектрического, этот прибор неполярный.

При переменном токе вращающий момент будет пульсировать, оставаясь положительным независимо от направления тока. Мгновенное значение момента.

$$m = L \frac{i^2}{2} \cdot \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

При синусоидальном токе ( $i = \sqrt{2} \cdot I \sin \omega t$ )

$$m = I^2 \sin^2 \omega t \cdot \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

Угол поворота подвижной части определяется средним значением момента

$$M_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T m dt = \frac{I^2}{2} \cdot \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

Указатель прибора повернется на угол

$$\alpha = \frac{I^2}{2W} \cdot \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

где I – действующее значение переменного тока.

Сравнивая уравнения преобразования для постоянного и переменного тока, отмечаем их полное совпадение. Это означает, что электромагнитные приборы являются универсальными по роду тока. Причем при переменном токе их показания соответствуют действующему значению измеряемого тока. Этот вывод можно распространить и на случаи, когда ток имеет несинусоидальную форму, поскольку такой ток может быть представлен в виде бесконечного ряда синусоид (гармоник).

## 2. Особенности электромагнитных приборов.

Шкалы электромагнитных приборов неравномерны, поскольку нелинейна функция  $\alpha(I)$ . Придавая лепестку надлежащую форму, можно добиться, чтобы производная  $\frac{dL}{d\alpha}$  стала убывающей функцией. Это делает шкалу практически равномерной за исключением начального нерабочего участка протяженностью 15-20% от длины шкалы.

При переменном токе часть электромагнитной энергии расходуется на потери в лепестке от гистерезиса вихревых токов, что приводит к росту погрешности. Потери, а значит и погрешность, растут с увеличением частоты, поэтому предельная частота, при которой используют такие приборы, обычно не превышает 150-200 Гц.

По точности электромагнитные приборы уступают магнитоэлектрическим: достижимый класс точности у них 0,5. Их чувствительность также ниже, чем у магнитоэлектрических на несколько порядков.

Из-за слабого собственного магнитного поля механизмы приборов требуют магнитного экранирования.

## 3. Применение.

Основная область применения электромагнитных приборов – измерение переменных токов и напряжений промышленной частоты. Схемы включения измерительных цепей соответствуют рис. 2.5. Однако, в отличие от магнитоэлектрических, электромагнитные амперметры позволяют производить прямые измерения больших токов и обладают высокой перегрузочной способностью.

### Тема 1.3. Электро- и ферродинамические приборы: использование измерительных цепей. Ваттметры в цепях постоянного и переменного тока.

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с разбором конкретных ситуаций (2 часа).

#### 1. Принцип работы и устройство измерительных механизмов.

Вращающий момент в электро- и ферродинамических механизмах создается в результате взаимодействия магнитных полей неподвижной и подвижной катушек.

Электродинамический механизм (рис 1, а) состоит из неподвижной двухсекционной катушки 1 и расположенной внутри нее подвижной катушки 2. Ток к подвижной катушке подводится через упругие элементы, предназначенные для создания противодействующего момента.

Ферродинамический механизм (рис. 1, б) отличается от электродинамического тем, что его неподвижная катушка 1 расположена на сердечнике 3 из магнитомягкого материала. Принцип работы механизма остается таким же, что и у электродинамического, но наличие магнитопровода приводит к значительному увеличению вращающего момента и снижению влияния внешних магнитных полей.

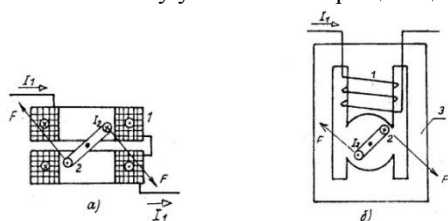


Рисунок 1 – Электродинамический (а) и ферродинамический (б) механизмы

#### 2. Уравнение преобразования. Энергия магнитного поля системы из двух катушек с постоянными токами

$$W_{\text{зм}} = L_1 \frac{I_1^2}{2} + L_2 \frac{I_2^2}{2} + M_{12} I_1 I_2$$

где  $L_1, L_2$  - собственные индуктивности катушек;  $I_1, I_2$  - величины токов;  $M_{12}$  - взаимная индуктивность. Поскольку  $L_1, L_2, I_1, I_2$  - не зависят от угла поворота подвижной катушки, вращающий момент.

$$M = \frac{\partial W_{\text{зм}}}{\partial \alpha} = I_1 I_2 \frac{\partial M_{12}}{\partial \alpha}$$

Приравняв вращающий и противодействующий моменты, получаем

$$\alpha = \frac{I_1 I_2}{W} \frac{\partial M_{12}}{\partial \alpha}$$

Таким образом, при постоянных токах отклонение указателя прибора определяется произведением величин токов.

Если токи переменные

$$i_1 = \sqrt{2} I_1 \sin \omega t, \quad i_2 = \sqrt{2} I_2 \sin(\omega t + \psi),$$

для мгновенного значения момента справедливо выражение

$$m = 2 I_1 I_2 \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \psi) \frac{\partial M_{12}}{\partial \alpha},$$

где  $\psi$  – фазовый угол между векторами токов  $i_1, i_2$ .

Среднее значение момента

$$M_{\text{cp.}} = \frac{1}{T} \int_0^T m dt = I_1 I_2 \cos \psi \frac{\partial M_{12}}{\partial \alpha},$$

и уравнение преобразования приобретает вид

$$\alpha = \frac{I_1 I_2}{W} \cos \psi \frac{\partial M_{12}}{\partial \alpha}$$

Таким образом, при переменном токе прибор чувствителен не только к произведению действующих значений токов, но и к углу сдвига фаз между ними. В частности, при  $\psi = 90^\circ$  независимо от величин токов указатель будет находиться на нулевой отметке.

#### 3. Применение.

Рассматриваемые механизмы могут быть использованы в амперметрах, вольтметрах, фазометрах, частотомерах. Однако чаще всего их используют в ваттметрах (рис. 2). Неподвижная катушка механизма образует последовательную измерительную цепь ваттметра, по ней протекает ток  $I_1$ , представляющий собой

ток нагрузки ( $I_n$ ). Подвижная катушка с добавочным резистором  $R\partial$  образует параллельную измерительную цепь, ток в которой  $I_2$  зависит от напряжения  $U$ .

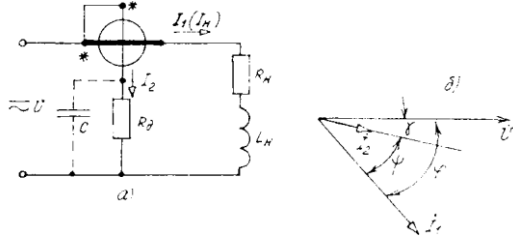


Рисунок 2 – Измерительные цепи (а) и векторная диаграмма (б) ваттметра

В цепи постоянного тока ток параллельной измерительной цепи

$$I_2 = \frac{U}{R_2 + R_0},$$

где  $R_2$  – активное сопротивление подвижной катушки.

$$\text{В соответствии с отклонение указателя } \alpha = \frac{I_n U}{W(R_2 + R_0)} \cdot \frac{\partial M}{\partial \alpha} = \frac{P}{W(R_2 + R_0)} \cdot \frac{\partial M_{12}}{\partial \alpha},$$

т.е. однозначно определяется величиной мощности. Чтобы шкала ваттметра была равномерной, производная  $\frac{\partial W_{12}}{\partial \alpha}$  должна быть постоянной величиной, а для этого взаимная индуктивность  $M_{12}$  должна изменяться

пропорционально углу поворота  $\alpha$ . Это обеспечивается конструктивным путем (форма и размеры катушек, их взаимное расположение, конфигурация полюсов магнитопровода).

Полагая  $\frac{\partial M_{12}}{\partial \alpha} = const$ , имеем

$$\alpha = S_p P,$$

где  $S_p = \frac{1}{W(R_0 + R_2)} \frac{\partial M_{12}}{\partial \alpha}$  – чувствительность к мощности.

При переменном токе величина  $I_2$  зависит еще и от индуктивного сопротивления катушки ( $x_2$ ):

$$I_2 = \frac{U}{\sqrt{(R_2 + R_0)^2 + x_2^2}} = \frac{U}{Z_2},$$

а вектор этого тока отстает от вектора напряжения (рис.2.8, б) на угол

$$\gamma = \arctg \frac{x_2}{R_2 + R_0}.$$

Отклонение указателя в этом случае составит

$$\alpha = \frac{I_n U}{W Z_2} \cos(\varphi - \gamma) \frac{dM_{12}}{d\alpha} = S_p U I_n \cos(\varphi - \gamma)$$

Показание прибора будет соответствовать активной мощности только при активном характере тока  $I_2$ , когда  $\gamma=0$ . Этому добиваются включением параллельно добавочному резистору конденсатора соответствующей емкости<sup>1</sup>.

Достижимый класс точности электродинамических приборов 0,2, ферродинамических - 0,5. Первые обычно используются в качестве образцовых амперметров, вольтметров и ваттметров на частотах до 10 кГц. Частотный диапазон ферродинамических приборов ограничен величиной 150-200 Гц.

## Раздел 2. Измерительные преобразователи

### Тема 2.1. Виды масштабных измерительных преобразователей. Внутренние и наружные шунты и их использование.

#### 1. Виды масштабных измерительных преобразователей

Масштабными называются преобразователи, которые, не изменяя природы измеряемой величины, изменяют ее масштаб в заданное число раз. К ним относятся шунты, добавочные резисторы, делители напряжения, измерительные трансформаторы напряжения и тока.

#### 2. Внутренние и наружные шунты и их использование.

Назначение и устройство. Шунты используют при измерении постоянных токов магнитоэлектрическими приборами. Ранее было показано, что вследствие конструктивных особенностей магнитоэлектрические приборы прямого включения не могут быть выполнены на ток более 10 мА. Следовательно, использование шунтов – это вынужденная мера, когда измеряемый ток имеет большую величину.

Устройство шунта показано на рисунке 3.1 а.

<sup>1</sup> В ваттметрах на номинальное напряжение более 100 В  $R\partial \gg X_2$ ,  $\gamma \approx 0$  и необходимость в конденсаторе отпадает.

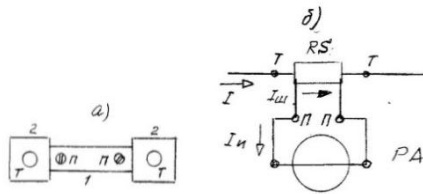


Рисунок 1 – Измерительный шунт: а - устройство; б - схема использования

Резистивный элемент 1 представляет собой пластину или проволоку из манганина. Он надежно соединен с контактными площадками 2 из меди.

На площадках имеется пара зажимов Т (токовые), которыми шунт включают в цепь измеряемого тока. Вторая пара зажимов П (потенциальные) расположена на краях резистивного элемента и служит для подключения измерительного прибора. Сопротивление шунта между потенциальными зажимами является величиной строго определенной и практически не зависит от температуры.

Внутренние шунты. При измерении сравнительно небольших токов размеры шунтов невелики, и их размещают непосредственно в корпусах приборов. В этом случае шкалы приборов градуированы вместе с шунтами, а их погрешность входит как составная часть в состав допустимой погрешности прибора.

Расчет внутреннего шунта сводится к нахождению требуемого его сопротивления. Как видно на рис. 3.1, измеряемый ток I разветвляется:  $I_{ш}$  протекает через шунт,  $I_u$  – по измерительной цепи прибора. Совершенно очевидно, что показание прибора будет соответствовать лишь части измеряемого тока.

Введем понятие о коэффициенте шунтирования  $n = \frac{I}{I_u}$ ,

который показывает, во сколько раз необходимо расширить предел измерения прибора.

Очевидным является соотношение  $\frac{I_{ш}}{I_u} = \frac{R_u}{R_{ш}}$ ,

где  $R_u$  – сопротивление измерительной цепи прибора.

Поскольку  $I_{ш} = I - I_u$ , то после несложных преобразований получаем:  $R_{ш} = \frac{R_u}{n - 1}$

Итак, чтобы расширить предел измерения в n раз, сопротивление шунта должно быть меньше сопротивления измерительной цепи прибора в n-1 раз.

В многопредельных амперметрах имеются несколько шунтов, которые обычно включены последовательно, как это показано на рис. 2.

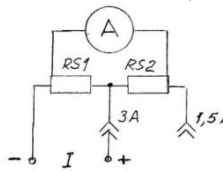


Рисунок.2. – Амперметр с внутренними шунтами и двумя пределами измерения

**Наружные шунты.** При измерении больших токов шунты используют отдельно от приборов, такие шунты называют наружными. Их изготавливают на номинальные токи стандартного ряда: 10; 15; 25; 30...ампер. Резистивные элементы этих шунтов имеют такие сопротивления, чтобы при номинальном токе падение напряжения на потенциальных зажимах равнялось нормированному значению – 75 мВ. В таком случае измерителем является милливольтметр с пределом измерения 75 мВ.

Поскольку ток через измеритель (несколько миллиампер) можно пренебречь, а падение напряжения пропорционально измеряемому току, шкала измерителя градуирована в амперах.

Чтобы предупредить о невозможности использования такого прибора без шунта, на его шкале наносят соответствующую надпись (рисунок 3.3).

**Погрешность и ее нормирование.** Погрешность наружного шунта как средства измерения обусловлена отклонением его действительного сопротивления от номинального

$$\delta = \frac{R_{н.м} - R_{д}}{R_{н.м}} \cdot 100, \%$$

Номинальное сопротивление наружного шунта в миллиомах равно

$$R_{н.м} = \frac{75}{I_{н.м}}$$

Класс точности шунта соответствует пределу основной допустимой погрешности  $\delta$ тах. Шунты, используемые для измерения постоянных токов, имеют классы точности от 0,02 до 0,5.

## Тема 2.2. Добавочные резисторы и делители напряжения.

### Добавочные резисторы

Параллельные измерительные цепи приборов (вольтметров, ваттметров, фазометров, частотомеров) имеют встроенные резисторы, предназначенные для уменьшения протекающего по ним тока. В частности для вольтметра, выполненного с измерительным механизмом, чувствительным к току, сопротивление резистора должно быть равно

$$R = \frac{U_N}{I_{\text{полн}}} - R_{II},$$

где  $U_N$  – конечное значение диапазона измерения;

$I_{\text{полн}}$  – ток полного отклонения измерительного механизма;

$R_{II}$  – сопротивление измерительной рамки (катушки) механизма.

Предел измерения уже имеющегося вольтметра можно расширить, включив последовательно с ним добавочный резистор  $R_{\delta}$  (рисунок 4).

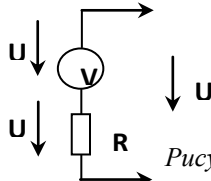


Рисунок 4 – Вольтметр с добавочным резистором

В этом случае показание вольтметра равно части измеряемого напряжения

$$U_v = \frac{U}{n}$$

где  $n$  – коэффициент расширения предела измерения.

Поскольку  $U_{\delta} + U_v = U$ , а  $\frac{U_v}{U_{\delta}} = \frac{R_v}{R_{\delta}}$ , то для требуемого сопротивления добавочного резистора получим

$$R_{\delta} = R_v(n-1)$$

где  $R_v$  – сопротивление вольтметра.

Итак, для расширения предела измерения вольтметра в  $n$  раз, необходим добавочный резистор, сопротивление которого больше сопротивления вольтметра в  $n-1$  раз.

Аналогично производят расчет сопротивления резистора для параллельной цепи ваттметра.

В приборах с несколькими пределами измерения по напряжению имеется цепочка добавочных резисторов  $R_1 \dots R_n$  и переключатель пределов SA (рисунок 5). В качестве добавочных для измерительных приборов используют т.н. прецизионные резисторы с допусками на отклонение сопротивления от номинального значения от  $\pm 0,02\%$  до  $\pm 0,1\%$ .

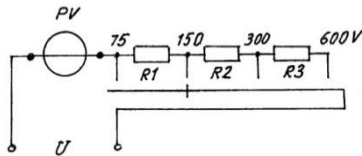


Рисунок 5 – Многопредельный вольтметр

### Делители напряжения

Электронные преобразователи аналоговых и цифровых приборов могут работать только при относительно низких входных напряжениях, что требует понижения входного напряжения в требуемое число раз. Для этой цели используют резистивные или резистивно-емкостные делители напряжения.

Резистивные делители (рисунок 3.5.) применяют при измерении постоянных или переменных напряжений низкой частоты.

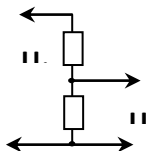


Рисунок .5 – Резистивный делитель напряжения

Коэффициент передачи такого делителя

$$n = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Для измерения переменных напряжений в широком частотном интервале используют емкостные делители или резистивные с частотной компенсацией

## Тема 2.3. Измерительные трансформаторы напряжения и тока.

### 1. Измерительные трансформаторы напряжения

Трансформаторы напряжения используют для преобразования относительно больших переменных напряжений в относительно малые, удобные для измерения. Помимо преобразования они обеспечивают безопасность персонала, поскольку измерительная цепь оказывается электрически изолированной от цепи высокого напряжения.

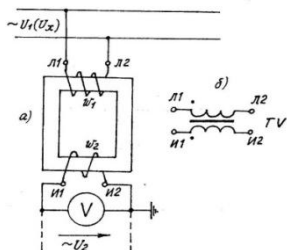


Рисунок 1 – Измерительный трансформатор напряжения: а - устройство; б - условное обозначение.

Конструкция трансформатора напряжения принципиально не отличается от конструкции маломощного силового трансформатора. На его первичную обмотку подают измеряемое напряжение  $U_1$ , к зажимам вторичной обмотки подключают измерительные цепи приборов: вольтметров, ваттметров, счетчиков энергии и т.д. Переход от измеренного вторичного напряжения к первичному производят умножением показания прибора на коэффициент трансформации:

$$U_1 = U_2 \cdot k_U$$

Действительный коэффициент трансформации приблизительно равен отношению чисел витков обмоток:

$$k_U \approx \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Его точное значение неизвестно, более того, оно не постоянно. Поэтому пользуются номинальным коэффициентом трансформации, который представляет отношение номинальных первичного и вторичного напряжений

$$k_{U_{ном}} = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}$$

Значение  $k_{U_{ном}}$  указано на самом трансформаторе виде простой дроби, причем величины напряжений принято указывать в киловольтах. Стандартной величиной  $U_{2ном}$  для трансформаторов напряжения является 100 В (0,1кВ).

Умножением  $U_2$  на номинальный коэффициент трансформации допускается некоторая погрешность, называемая погрешностью напряжения:

$$\delta_U = \frac{k_{U_{ном}} - k_U}{k_{U_{ном}}} \cdot 100, \%$$

Помимо погрешности напряжения у измерительных трансформаторов имеется угловая погрешность. Она обусловлена тем, что вторичное напряжение не совпадает с первичным, а сдвинуто относительно него на угол  $\gamma_U$ , составляющий у трансформаторов различной точности от 10 угловых минут до одного градуса.

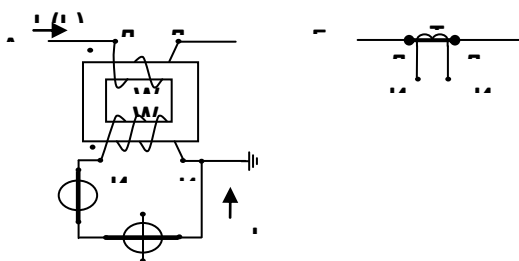
Угловая погрешность оказывает влияние на точность измерения величин, в выражениях которых имеется фазовый угол: мощности, энергии, сдвига фаз.

Классы точности трансформаторов напряжения соответствуют пределу допустимой погрешности напряжения  $\delta_{U_{max}}$  при условии, что суммарная мощность подключенных ко вторичной обмотке измерительных цепей не превышает номинальной мощности.

Их изготавливают на номинальные первичные напряжения от 0,22 до 220 кВ, номинальной мощностью от 5 до 25 ВА и классами точности 0,1; 0,2; 0,5; 1,0.

### 2. Измерительные трансформаторы тока

Трансформаторы тока (рисунок 3.6) используют для преобразования больших переменных токов в относительно малые, удобные для измерения. Как и трансформаторы напряжения они обеспечивают изоляцию измерительных цепей от силовой цепи.





Первичную обмотку включают в цепь измеряемого тока, ко вторичной подключают последовательные измерительные цепи приборов. Переход от измеренного вторичного тока к измеряемому первичному производят умножением на номинальный коэффициент трансформации.

$$I_1 = I_2 \cdot K_{\text{ном}}$$

Последний указан на трансформаторе тока в виде отношения номинальных токов

$$K_{\text{ном}} = \frac{I_{1\text{ном}}}{I_{2\text{ном}}}$$

Номинальные первичные токи трансформаторов тока соответствуют стандартному ряду номинальных токов: 10; 15; 20; 25; 30...А. Номинальный вторичный ток – величина нормированная – 1 или 5 А. Шкалы щитовых приборов градуированы с учетом коэффициента трансформации использованных измерительных трансформаторов и должны иметь соответствующую надпись, например ТТ  $\frac{600}{5}$ .

Из-за неидеальности трансформаторов тока им присущи погрешности: токовая и угловая. Токовая погрешность вызвана тем, что действительный коэффициент трансформации  $K_I$  не равен номинальному  $K_{I\text{ном}}$ . Тогда относительная токовая погрешность составит

$$\delta_I = \frac{K_{\text{ном}} - K_I}{K_{\text{ном}}} \cdot 100\%$$

Угловая погрешность обусловлена сдвигом фаз между векторами первичного и вторичного токов и обычно не превышает 0,5 градуса.

Классы точности трансформаторов тока свидетельствуют о пределе основной допустимости токовой погрешности ( $\delta_{I\text{max}}$ ). Сведения о величине угловой погрешности содержатся в технической документации.

Стационарные измерительные трансформаторы тока имеют классы точности 0,5 и 1,0; лабораторные – 0,05; 0,1; 0,2.

### Раздел 3. Электронные аналоговые приборы

#### Тема 3.1. Функциональная схема электронного аналогового прибора (ЭАИП) и его метрологические возможности. Устройство и применение выпрямительных приборов. Использование информации при измерении несинусоидальных величин. Электронные вольтметры переменного и постоянного тока.

##### 1. Функциональная схема электронного аналогового прибора (ЭАИП) и его метрологические возможности.

Электронный аналоговый прибор (ЭАИП) – это сочетание измерителя с магнитоэлектрическим механизмом МЭИ и электронного измерительного преобразователя ЭИП (рис. 1).

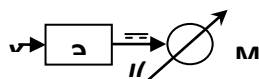


Рисунок 1 – Функциональная схема ЭАИП

Измеряемая величина  $x$  поступает на вход ЭИП, где преобразуется в постоянный ток или постоянное напряжение. Шкалу измерителя градуируют в единицах измеряемой величины.

Использование электронных преобразователей позволяет расширить функциональные возможности и улучшить некоторые метрологические характеристики аналоговых приборов.

В частности электронные вольтметры обладают значительно более высоким входным сопротивлением и более широким частотным диапазоном, чем обычные вольтметры.

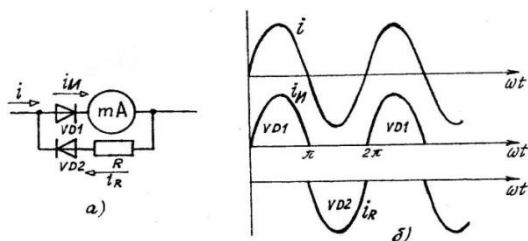
По роду измеряемых величин ЭАИП весьма разнообразны. Это вольтметры постоянного и переменного напряжения, ваттметры, частотомеры, фазометры, омметры, измерители емкости и индуктивности, а также измерители неэлектрических величин (температуры, скорости и т.п.).

Однако, в связи с появлением доступных цифровых приборов аналогичного назначения ЭАИП начинают терять свои позиции. Поэтому в настоящей главе будут рассмотрены лишь некоторые из них.

##### 2. Устройство и применение выпрямительных приборов. Использование информации при измерении несинусоидальных величин

В выпрямительных приборах электронным преобразователем является выпрямитель, выполненный на маломощных полупроводниковых диодах. Сочетание выпрямителя с магнитоэлектрическим механизмом образует прибор, позволяющий измерять переменный ток или переменное напряжение.

Выпрямитель прибора может быть выполнен по однополупериодной или двухполупериодной схемам. В первом случае (рис. 2.12) используются два диода: VD1 включен последовательно с рамкой измерительного механизма, VD2 с резистором R образуют шунтирующую цепь. Сопротивление резистора должно быть равно сопротивлению рамки механизма, что обеспечивает равенство сопротивлений для прямого и



обратного направления тока.

Рисунок 2 – Миллиамперметр с однополупериодным выпрямителем (а) и временные диаграммы (б)

Положительная полуволна  $i_u$  измеряемого переменного тока протекает через измерительный механизм, отрицательная  $i_R$  – через резистор и диод VD2.

Среднее значение пульсирующего тока

$$I_{u,sp} = \frac{I}{2K_\phi}$$

а угол отклонения указателя

$$\alpha = \frac{S_1}{2K_\phi} I$$

где  $K_\phi$  – коэффициент формы измеряемого переменного тока;  $S_1$  – чувствительность измерительного механизма к току;  $I$  – действующее значение измеряемого тока.

Вариант прибора с двухполупериодным выпрямителем показан на рисунке 2. В этом случае через измерительный механизм протекают обе полуволны измеряемого тока, и чувствительность прибора возрастает в два раза:

$$\alpha = \frac{S_1}{K_\phi} I$$

Для расширения предела измерения до нескольких ампер используют шунты, а при измерении больших токов – специальные трансформаторы тока.

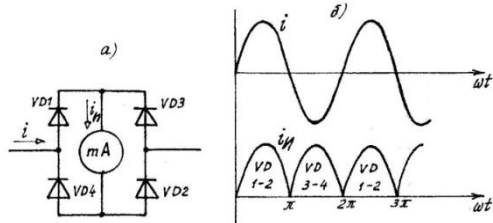


Рисунок 3 – Миллиамперметр с двухполупериодным выпрямителем (а) и временные диаграммы (б)

Выпрямительные вольтметры выполняют по аналогичным схемам с использованием добавочного резистора. Угол отклонения указателя при двухполупериодном выпрямлении

$$\alpha = \frac{S_1}{K_\phi R_c} U$$

где  $U$  – действующее значение измеряемого напряжения;  $R_c$  – сопротивление добавочного резистора.

Из выражений (1,2,3) следует, что на показание приборов влияет форма измеряемого тока или напряжения. Шкалы таких приборов градуируют в действующих значениях для синусоид ( $K_\phi=1.11$ ), поэтому показания приборов достоверны лишь при измерении синусоидальных величин.

Если измеряемые величины несинусоидальны, показания прибора следует разделить на  $K_\phi=1.11$ , что даст достоверное среднее значение, а затем умножить на коэффициент формы измеряемой величины:

$$U = \frac{U_{изм}}{1.11} \cdot K_{\phi x}$$

В отличие от электромагнитных, выпрямительные приборы обладают высокой чувствительностью, имеют практически равномерные шкалы, могут работать на повышенных (до 50кГц) частотах. Точность приборов относительно невысока (классы точности 1.0; 1.5) из-за температурной зависимости характеристик диодов.

### Тема 3.2. Электронные ваттметры и счетчики электрической энергии.

#### 1. Электронные вольтметры переменного и постоянного тока

В отличие от простых омметров с однорамочными и двухрамочными измерительными механизмами электронные омметры имеют равномерную шкалу и обладают более высокой точностью. Большинство электронных омметров работает на принципе преобразования измеряемого сопротивления в постоянный ток. Обычно для этой цели используют интегральные операционные усилители. Упрощенная принципиальная схема одного из таких омметров представлена на рис. 2.14.

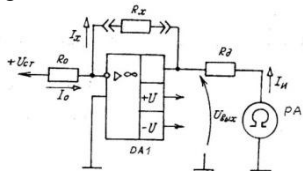


Рисунок 1 – Электронный вольтметр

На инвертирующий вход операционного усилителя DA1 через образцовый резистор  $R_0$  подано напряжение  $U_{cm}$  от стабилизатора напряжения. На этот же вход через измеряемое сопротивление  $R_x$  поступает выходное напряжение  $U_{вых}$  операционного усилителя. В результате усилитель оказывается охваченным отрицательной обратной связью, глубина которой определяется сопротивлениями  $R_0$  и  $R_x$ . Выходной ток операционного усилителя измеряется магнитоэлектрическим измерителем РА.

Пренебрегая напряжением между входами усилителя, имеем

$$I_0 = \frac{U_{cm}}{R_0}, \quad I_x = \frac{U_{вых}}{R_0}$$

Поскольку входной ток усилителя близок к нулю, можно полагать, что  $I_x = I_0$ , т.е.  $\frac{U_{cm}}{R_0} = \frac{U_{вых}}{R_x}$ , откуда

$$U_{вых} = U_{cm} \frac{R_x}{R_0}$$

Ток измерителя 
$$I_u = \frac{U_{вых}}{R_u + R_c} = R_x \frac{U_{cm}}{R_0(R_u + R_c)}$$

где  $R_u$  – сопротивление измерителя;  $R_c$  – сопротивление добавочного резистора.

Уравнение свидетельствует, что шкалу измерителя можно градуировать в единицах сопротивления, причем она будет равномерной. Выбор надлежащего предела измерения производят изменением сопротивления образцового резистора  $R_0$ .

В реальных омметрах помимо элементов, представленных на рис. 2.14, имеется узел, предотвращающий перегрузку измерителя при отключенном  $R_x$ .

Точность омметра зависит от стабильности напряжения  $U_{ст}$  и точности образцового резистора  $R_0$ .

## 2. Электронные ваттметры и счетчики энергии

Принцип работы электронных ваттметров основан на преобразовании активной мощности в постоянный ток или в последовательность однополярных модулированных импульсов. Функциональная схема одного из вариантов представлена на рис.2.15.

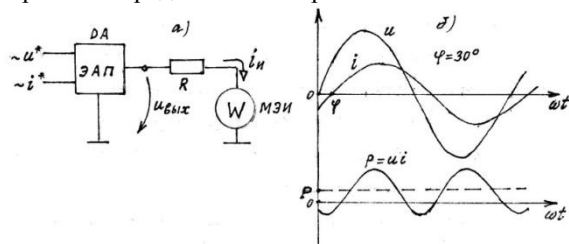


Рисунок 2 - Функциональная схема (а) и временные диаграммы (б) электронного ваттметра

Измерительный преобразователь прибора выполнен на интегральной схеме ДА, выполняющей функцию аналогового перемножителя (ЭАП). На входы перемножителя от имеющихся в корпусе прибора масштабных преобразователей поступают сигналы, пропорциональные напряжению  $u$  и току  $i$ . Перемножитель формирует функцию  $p = u \times i$ , представляющую собой мгновенную мощность (рис.2 б). Среднее значение выходного напряжения соответствует активной мощности  $P$ , следовательно шкала измерителя МЭИ может быть отградуирована в единицах мощности.

В отличие от ферро- и электродинамических ваттметров электронные обладают высокой чувствительностью и широким частотным диапазоном.

Функциональная схема электронного счетчика помимо перемножителя содержит электронный фильтр  $\Phi$ , преобразователь напряжение-частота ПНЧ и электромеханический или электронный счетчик импульсов СИ (рис. 3).

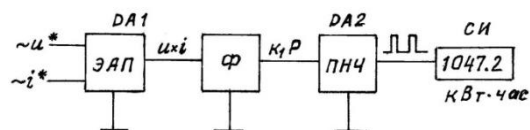


Рисунок 3 – Функциональная схема электронного счетчика

Электрический фильтр выделяет из кривой  $u \times i$  (рис.2.15.б) постоянную составляющую, которая пропорциональна активной мощности. Преобразователь ПНЧ преобразует это напряжение в последовательность импульсов постоянной амплитуды и длительности, частота которых пропорциональна входному напряжению, а значит - активной мощности.

$$f_u = k_1 k_2 P$$

Число импульсов за некоторое время соответствует количеству энергии

$$N = C_{\text{ном}} W,$$

где  $C_{ном}$ ,  $\frac{Дж}{имп.}$  - номинальная постоянная счетчика.

### 3. Преимущества счетчика электрической энергии и цифровых измерительных приборов

В сравнении с электромеханическими электронные счетчики обладают повышенной точностью, т.к. у них значительно меньше дополнительная погрешность, вызванная изменениями напряжения, частоты и несинусоидальностью напряжения и тока. Кроме того, у них меньше собственное потребление. В большинстве конструкций электронных счетчиков предусматривается реализация дополнительных (сервисных) функций: возможность передачи измерительной информации по каналам связи на пункты ее сбора, обработки и хранения, учет энергии отдельно по зонам суток, фиксация максимума энергопотребления и др.

## Тема 3.3. Функциональная схема цифровых измерительных приборов (ЦИП). Электронные узлы ЦИП. Цифровые измерители интервалов времени и цифровые частотомеры. Вольтметры последовательного счета.

### 1. Функциональная схема ЦИП

Цифровые измерительные приборы (ЦИП) представляют измерительную информацию в цифровой форме, преобразуя непрерывный (аналоговый) сигнал в дискретный. В таком сигнале информация содержится не в его интенсивности (например, в величине напряжения или тока), а в числе элементов - электрических импульсов. Совокупность таких элементов образует код, который в дальнейшем расшифровывается и представляется на отсчетном устройстве в виде числа в десятичной системе счисления.

По сравнению с аналоговыми приборами ЦИП обладают рядом достоинств: объективность и удобство отсчета и регистрации результатов измерения; высокая точность (до 0,001%) при широком диапазоне измеряемых величин; высокое быстродействие, обусловленное отсутствием движущихся частей; автоматизация процесса измерения – возможность выбора предела, коррекции погрешностей; возможность дистанционной передачи измерительной информации без потери точности.

Некоторым недостатком ЦИП является их сложность и относительно высокая стоимость. На рисунке 4.1. представлена обобщенная функциональная схема цифрового измерительного прибора.

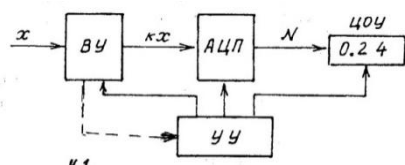


Рисунок 1 – Функциональная схема цифрового прибора

В соответствии со схемой ЦИП содержит входное устройство (ВУ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифровое отсчетное устройство (ЦОУ) и управляющее устройство (УУ). ВУ предназначено для масштабного преобразования измеряемой величины или ее преобразования в величину, удобную для дальнейшего использования. Обычно такой величиной является напряжение или частота. АЦП – основной функциональный узел ЦИП. Поступающая на вход АЦП величина преобразуется в цифровой код N. Информация в виде кода поступает в ЦОУ, где отображается в виде числа в привычной десятичной системе. Работой ВУ, АЦП и ЦОУ управляет УУ путем выработки команд, представляющих собой определенную последовательность электрических импульсов.

В приборах с автоматическим выбором предела измерения между ВУ и УУ, помимо прямой, имеется обратная связь (на рисунке 4.1. показана штриховой линией).

### 2. Электронные узлы ЦИП

Цифровые измерительные приборы построены на электронных элементах, образующих узлы, которые выполняют определенные функции. Наиболее характерными из таких узлов являются триггеры, пересчетные устройства, генераторы импульсов и напряжений определенной формы, компараторы, знаковые индикаторы.

**Триггеры.** Это устройства с двумя устойчивыми состояниями, переходящие из одного состояния в другое скачком под воздействием внешнего сигнала. Известно большое разнообразие триггеров, выполненных в виде готовых изделий – интегральных микросхем. В цифровых приборах чаще других используются RS – триггеры и Т-триггеры. (рисунок 4.2).

RS-триггер имеет два входа S и R и обычно два выхода – прямой Q и инверсный  $\bar{Q}$ . При подаче короткого импульса на S – вход независимо от предыдущего состояния триггер переходит в единичное: на прямом выходе появляется напряжение высокого уровня, на инверсном – низкого. В таком состоянии

триггер находится неограниченно долго. Чтобы перевести его в нулевое состояние, необходимо подать такой же импульс на R – вход.

T-триггер или триггер со счетным входом имеет только один вход и один или два выхода. Каждый входной импульс переключает триггер в противоположное состояние. Диаграмма T-триггера (рисунок 4.2., в) свидетельствует, что частота выходных импульсов в 2 раза меньше частоты импульсов на входе, т.е. он может быть использован для деления частоты на 2. В результате последовательного соединения n триггеров возможно деление частоты импульсов на  $2^n$ . Это их свойство используется в счетчиках импульсов. Путем комбинаций триггеров и связей между ними реализуются пересчетные устройства и дешифраторы

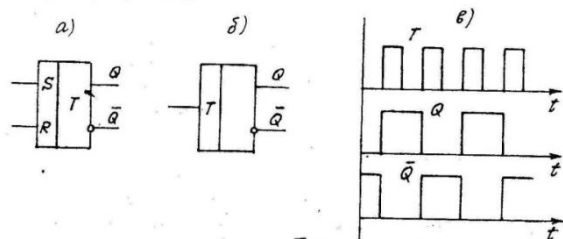


Рисунок 2. – RS-триггер (а), T-триггер (б), временная диаграмма T-триггера (в)

Сравнивающие устройства (компараторы) предназначены для сравнения двух величин, представленных в форме напряжений  $u_1, u_2$  (рисунок 3).

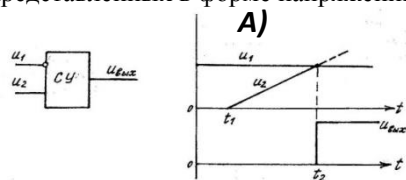


Рисунок 3 – Обозначение компаратора и диаграмма его работы

В момент времени  $t_2$ , когда  $u_1 = u_2$  на выходе СУ скачком появляется сигнал в форме напряжения  $u_{вых}$ . Сравнивающие устройства содержат усилители и пороговые элементы (триггеры) и выполняются обычно в виде готовых изделий – интегральных микросхем.

Генераторы импульсов прямоугольной формы обычно выполняют на логических элементах (инверторах). Типовая схема с времязадающей RC – цепью показана на рисунке 4.4, а. Частота выходных импульсов скважностью 0,5 (меандр) определяется постоянной времени RC – цепи

$$f = \frac{1}{\sqrt{2}RC}$$

Высокую стабильность частоты получают, используя во времязадающей цепи кварцевый резонатор.

Генераторы линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) обеспечивают генерацию сигнала, форма которого представлена на рисунке 5, б.

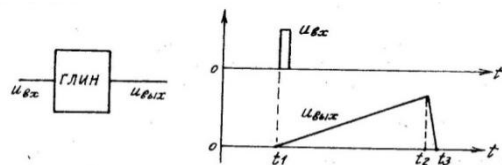


Рисунок 5 – Генератор линейно изменяющегося напряжения

В момент  $t_1$  на вход ГЛИН поступает запускающий импульс, и на его выходе начинается формирование линейного напряжения  $u_{вых} = kt$ , где  $k = \frac{du}{dt}$  – коэффициент, характеризующий скорость

изменения напряжения. Промежуток  $t_2 - t_1$  называется прямым ходом генератора, в конце этого промежутка выходное напряжение достигает значения  $U_{max} = k(t_2 - t_1)$ . Закон изменения напряжения за время обратного хода обычно не существует. Линейный закон изменения напряжения в схемах генераторов достигается путем заряда конденсатора неизменным по величине током.

Знаковые индикаторы. Для отображения цифровой информации в ЦИП используются знаковые индикаторы. Наибольшее распространение получили семисегментные индикаторы, состоящие из семи элементов (сегментов), светящихся при подаче на них управляющего напряжения. Комбинация светящихся элементов образует знак (цифру). По принципу работы различают электролюминесцентные, газоразрядные,

светодиодные и жидкокристаллические индикаторы. Общее число индикаторов соответствует числу десятичных разрядов ЦОУ.

### 3. Цифровой измеритель интервалов времени (хронометр)

Прибор содержит генератор импульсов ГИ, электронный ключ К, пересчетное устройство ПУ, цифровое отсчетное устройство ЦОУ и RS-триггер Т (рисунок 4.7).

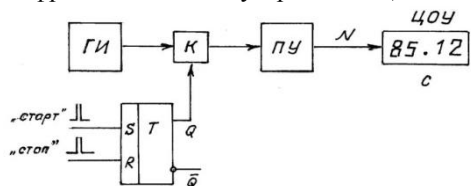


Рисунок 6 – Функциональная схема измерителя интервалов времени

После подачи питающего напряжения генератор импульсов начинает генерировать импульсы с частотой  $f_{и}$ , а триггеры ПУ и управляющий RS-триггер обнуляются. Начало измерения определяет момент подачи импульса «старт» на S-вход триггера. Триггер переходит в единичное состояние, своим выходным напряжением Q открывает ключ, и импульсы начинают поступать в пересчетное устройство. После поступления на S-вход триггера импульса «стоп» последний возвращается в нулевое состояние. Ключ закрывается, счет импульсов прекращается.

Число поступивших в ПУ импульсов связано с частотой  $f_{и}$  и измеряемым интервалом времени  $t_x$  соотношением.

$$N = f_{и} \cdot t_x,$$

откуда

$$t_x = \frac{N}{f_{и}}$$

Основные составляющие погрешности прибора – это погрешность квантования, которая тем меньше, чем выше частота  $f_{и}$ , и погрешность, вызванная нестабильностью частоты  $f_{и}$ .

### Электронно-счетный частотомер

В отличие от хронометра в частотомере переменной величиной является частота, а постоянной – временной интервал.

Функциональная схема прибора представлена на рисунке 4.8., где ИП – импульсный преобразователь, а ДВИ – датчик временных интервалов.

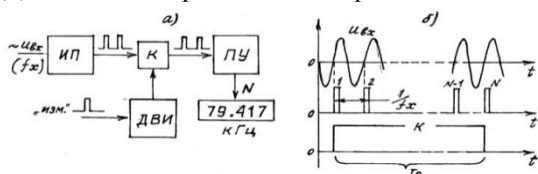


Рисунок 7 – Частотомер: а - функциональная схема, б – временные диаграммы

Импульсный преобразователь необходим для того, чтобы переменное входное напряжение произвольной формы было преобразовано в последовательность импульсов той же частоты  $f_x$ , что и у входного напряжения.

При поступлении импульса «измерение» ДВИ своим выходным напряжением открывает ключ на время равное  $T_0$  (рисунок 4.8 б). Число поступивших в ПУ импульсов связано с частотой  $f_x$  и временным интервалом  $T_0$  соотношением

$$N = f_x T_0$$

Помимо погрешности квантования на результат измерения влияет погрешность формирования временного интервала.

### Время - импульсный вольтметр

Принцип построения такого вольтметра основан на преобразовании напряжения во временной интервал и последующего его измерения уже известным способом.

Функциональная система вольтметра показана на рисунке 4.9. Помимо уже знакомых узлов схема содержит компаратор СУ и генератор линейно изменяющегося напряжения ГЛИН.

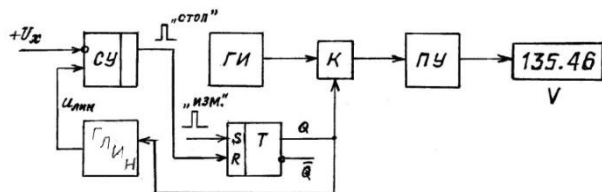


Рисунок 8 – Схема время - импульсного вольтметра

Работа прибора иллюстрируется временными диаграммами на рисунке 4.10.

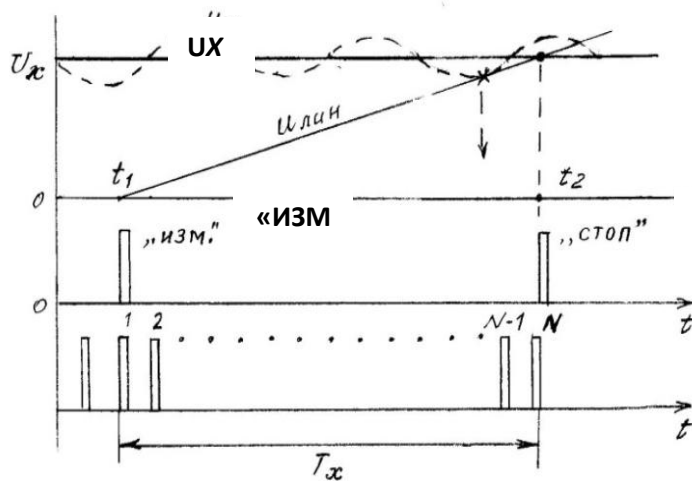


Рисунок 9 – Временные диаграммы

Начало измерения происходит в момент времени  $t_1$ , когда на вход RS-триггера поступает импульс «изм.» При этом триггер переключается в единичное состояние, открывая ключ и запуская ГЛИН. В момент  $t_2$  линейно возрастающее напряжение  $u_{лин}$  становится равным измеряемому напряжению, и с выхода ГЛИН на R-вход триггера поступает импульс «стоп»; счет импульсов прекращается.

Интервал, в течение которого импульсы от ГИ поступают в пересчетное устройство, равен

$$T_x = \frac{N}{f_u},$$

где  $f_u$ -частота импульсов.

Поскольку  $U_x = kT_x$ , то

$$N = \frac{f_u}{K} \cdot U_x,$$

где  $K = \frac{du_{лин}}{dt}$  - скорость возрастания напряжения  $u_{лин}$ .

Помимо погрешности квантования, характерной для всех цифровых приборов, результирующая погрешность вольтметра содержит следующие составляющие:

- погрешность порога срабатывания СУ;
- погрешность нестабильности ГИ;
- погрешность нелинейности ГЛИН.

У лучших образцов время - импульсных вольтметров она не превышает  $\pm 0,05\%$ .

Их недостатком является чувствительность к помехам. Например, если на вход вольтметра проникает помеха, имеющая форму периодического переменного напряжения (на рисунке 4.10 показана штриховой линией), счет импульсов может прекратиться раньше момента времени  $t_2$ . Погрешность, вызванная влиянием помехи, зависит от ее амплитуды и фазы.

Частотно-импульсный вольтметр

Схема вольтметра представлена на рисунке

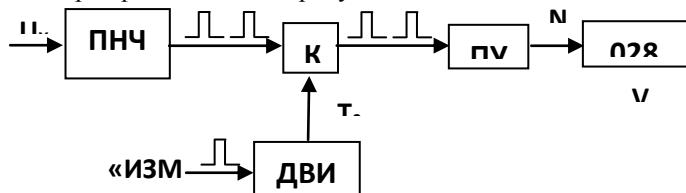


Рисунок 10 – Схема частотно-импульсного вольтметра

Измеряемое напряжение преобразуется в последовательность импульсов, частота следования которых пропорциональна напряжению. Эту функцию выполняет преобразователь напряжения в частоту ПНЧ. В дальнейшем происходит измерение частоты уже известным способом. Число поступивших в ПУ импульсов

$$N = KT_0 U_x$$

где  $K$ - коэффициент преобразования ПНЧ;

$T_0$  – временный интервал.

Если  $T_0$  кратно периоду помехи, влияние помехи на результат измерения

## Раздел 4. Измерение мощностей в трехфазных электрических сетях

### Тема 4.1. Измерение активной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях

Лекция проводится в интерактивной форме: лекция-беседа, лекция с разбором конкретных ситуаций (2 часа).

Независимо от схемы соединения фаз нагрузки активная мощность в трехфазной цепи при синусоидальных токах и напряжениях определяется как сумма активных мощностей отдельных фаз:

$$P = U_{1\phi} I_{1\phi} \cos \varphi_1 + U_{2\phi} I_{2\phi} \cos \varphi_2 + U_{3\phi} I_{3\phi} \cos \varphi_3,$$

где  $U_{\phi}$ ,  $I_{\phi}$  - действующие значения фазных напряжений и токов;

$\cos \varphi_1$ ,  $\cos \varphi_2$ ,  $\cos \varphi_3$  - коэффициенты мощности фаз.

В общем случае системы токов и напряжений несимметричны, следовательно, мощности отдельных фаз могут быть различными.

В зависимости от вида цепи и режима нагрузки для измерения мощности используют методы одного, двух и трех приборов.

**Метод одного прибора.** Идея метода заключается в измерении мощности любой одной фазы с последующим умножением результата на 3. Совершенно очевидно, что результат будет верным только в режиме полной симметрии, когда симметрична система напряжений и равны между собой полные комплексные сопротивления фаз электроприемника. Первое из этих условий на практике никогда строго не выполняется, поэтому даже при симметричном электроприемнике неизбежна некоторая методическая погрешность.

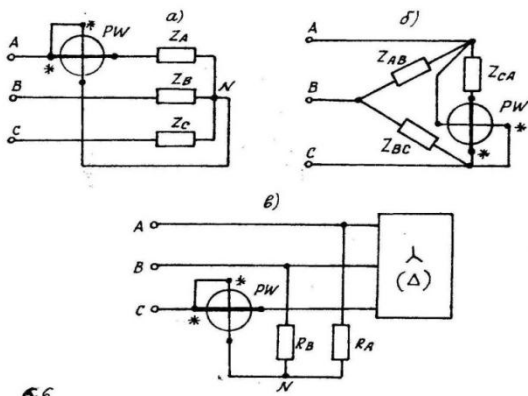
Схемы включения ваттметра показаны на рисунке 1.

По схема на рисунке 1, а ваттметр подключают в том случае, когда фазы электроприемника соединены звездой. Показание прибора при этом соответствует мощности фазы А.

При соединении треугольником ваттметр включают в одну из его сторон. При подключении в соответствии с рисунком 1, б показание прибора соответствует мощности фазы СА.

Если схема соединения фаз нагрузки недоступна, ваттметр включают так же, как при соединении звездой, а нейтральную точку создают искусственно (рисунк 6.6, в). Для этого необходимы два резистора ( $R_A$  и  $R_B$ ), сопротивления которых равны сопротивлению параллельной измерительной цепи прибора.

Во всех случаях активная мощность приемника находится умножением на 3 показания прибора.

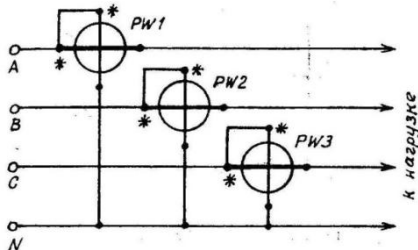


**Метод n**

группы э

Этот метод используется в четырехпроводных сетях для измерения мощности фаз, когда симметричный режим маловероятен.

Три ваттметра включают так, чтобы каждый из них измерял мощность своей фазы (рисунк 2).



\* Разумеется, ваттметр может быть включен в любую из трех фаз



Рисунок 2 – Схема измерения активной мощности

Мощность, поступающая в нагрузку, находится арифметическим суммированием показаний приборов:

$$P = PW_1 + PW_2 + PW_3.$$

В стационарных условиях вместо трех отдельных приборов используют один трехэлементный. В корпусе такого прибора находится три одинаковых измерительных механизма с общей подвижной частью. Указатель прибора отклоняется под действием суммы вращающих моментов, поэтому его шкала градуирована в значениях суммарной мощности. Схема включения трехэлементного ваттметра соответствует рисунку 2. Последовательные измерительные цепи прибора обычно рассчитаны на ток 1А или 5 А; для расширения предела измерения их подключают через измерительные трансформаторы тока.

Метод двух приборов. Его используют в трехпроводных трехфазных цепях при произвольной нагрузке. В отличие от методов одного и трех приборов он потребует теоретического обоснования.

Будем полагать, что фазы нагрузки соединены треугольником (рисунок 6.8).

Для такой цепи справедливы соотношения

$$u_{AB} + u_{BC} + u_{CA} = 0 \quad (1)$$

$$i_A = i_{AB} - i_{CA}; \quad i_B = i_{BC} - i_{AB}; \quad i_C = i_{CA} - i_{BC} \quad (2)$$

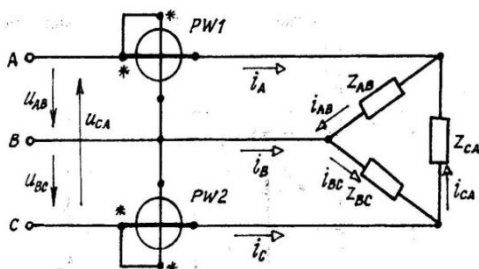


Рисунок 3 – Вариант схемы измерения активной мощности методом двух приборов

Запишем выражение для мгновенной мощности:

$$p = p_{AB} + p_{BC} + p_{CA} = u_{AB}i_{AB} + u_{BC}i_{BC} + u_{CA}i_{CA}$$

Воспользовавшись соотношением выразим напряжение  $u_{CA}$  через 2 других. В результате получим:

$$\begin{aligned} p &= u_{AB}i_{BC} + u_{BC}i_{BC} + (-u_{AB} - u_{BC})i_{CA} = u_{AB}(i_{AB} - i_{CA}) + u_{BC}(i_{BC} - i_{CA}) = \\ &= u_{AB}(i_{AB} - i_{CA}) + u_{CB}(i_{CA} - i_{BC}) \end{aligned}$$

Поскольку линейные токи  $i_A$  и  $i_C$  в соответствии с выражением . – это разности смежных фазных токов, окончательно имеем:

$$p = u_{AB} \cdot i_A + u_{CB}i_C$$

Активная мощность – это среднее за период значение мгновенной мощности. Из курса ТОЭ известно, что среднее значение произведения двух синусоидальных величин равно произведению их действующих значений на косинус угла сдвига фаз между ними. Поэтому в нашем случае:

$$P = U_{AB}I_A \cos(\dot{U}_{AB}, \dot{I}_A) + U_{CB}I_C \cos(\dot{U}_{CB}, \dot{I}_C). \quad (4)$$

Для получения первого слагаемого выражения (6.8) последовательную измерительную цепь ваттметра PW1 следует включить в линейный провод А, а на параллельную подать напряжение  $U_{AB}$ . Второму слагаемому будет соответствовать показание ваттметра PW2, последовательная цепь которого включена в линейный провод С, а на параллельную подано напряжение  $U_{CB}$  (рисунок 6.7).

Если при выводе уравнения (5.8) исключить напряжения  $U_{AB}$  и  $U_{BC}$ , получим соответственно

$$P = U_{BC}I_B \cos(\dot{U}_{BC}, \dot{I}_B) + U_{AC}I_A \cos(\dot{U}_{AC}, \dot{I}_A) \quad (5)$$

$$P = U_{CA}I_C \cos(\dot{U}_{CA}, \dot{I}_C) + U_{BA}I_B \cos(\dot{U}_{BA}, \dot{I}_B) \quad (6)$$

Выражения (6.8), (6.9) и (6.10) свидетельствуют, что существуют 3 равноценных варианта включения ваттметров, подчиняющихся общему правилу:

Последовательные измерительные цепи ваттметров необходимо включить в 2 любых линейных провода, а на параллельные подать напряжения между «своим» и свободным проводом.

Активная мощность в любом случае определяется суммированием показаний приборов.

Поскольку угол между линейным напряжением и линейным током составляет  $30^\circ \pm \varphi$ , при  $|\varphi| > 60^\circ$  показание одного из ваттметров будет отрицательным. В этом случае необходимо изменить фазировку выводов любой из цепей данного прибора, а его показание при суммировании полагать отрицательным.

Поскольку треугольник может быть преобразован в эквивалентную звезду, все сказанное справедливо и для случая соединения фаз приемника звездой.

В отличие от методов одного и трех приборов показания ваттметров, взятые в отдельности, в общем случае не имеют смысла. Однако в режиме полной симметрии для схемы рисунок 6.8

$$PW_1 = UI \cos(30^\circ + \varphi)$$

$$PW_2 = UI \cos(30^\circ - \varphi)$$

Это позволяет, помимо измерения мощности, получить сведения о характере и фазовом угле симметричного электроприемника.

Для технических измерений при стационарной установке приборов используют двухэлементные ваттметры, схема включения которых аналогична схеме включения двух одноэлементных.

Поскольку трехпроводные сети обычно высоковольтные (свыше 1 кВ), для подключения ваттметров используют измерительные трансформаторы тока и напряжения.

#### Тема 4.2. Измерение реактивной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях

Выражение для реактивной мощности в однофазной цепи имеет вид  $Q = UI \sin \varphi$ .

Если на параллельную измерительную цепь ваттметра подать напряжение  $\dot{U}' = Ue^{j(90^\circ - \varphi)}$ , т.е. равное по модулю напряжению, питающему нагрузку, но отстающее от него на  $90^\circ$  (рисунок 6.9), показание ваттметра будет соответствовать реактивной мощности

$$PW = UI \cos(90^\circ - \varphi) = UI \sin \varphi = Q.$$

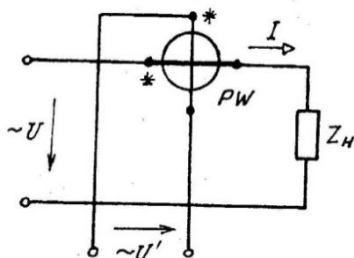
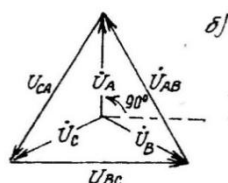
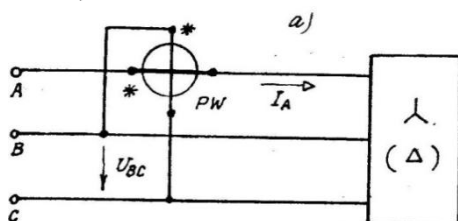


Рисунок 1 – Схема, поясняющая принцип замены напряжения при изменении реактивной мощности

Напряжение  $U'$  условимся называть заменяющим. В однофазной цепи заменяющее напряжение может быть получено схемным путем с использованием фазосдвигающих цепей. В трехфазных цепях в зависимости от метода измерения заменяющими могут быть либо линейные, либо фазные напряжения.

**Метод одного прибора.** Данный метод можно использовать для измерения реактивной мощности симметричных электроприемников (рисунок 6.10). Из диаграммы (рисунок 6.10, б) следует, что фазное напряжение  $U_A$ , которое использовалось при изменении активной мощности, можно заменить линейным напряжением  $U_{BC}$ , отстающим от него на требуемые  $90^\circ$ . Величину реактивной мощности получим умножением показания ваттметра на 3 и последующим делением на  $\sqrt{3}$ :

$$Q = \frac{3PW}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}PW$$



**Метод двух приборов.** Этим методом пользуются для измерения реактивной мощности нагрузки, питающейся от трехфазной трехпроводной сети (рисунок 6.11). При измерении активной мощности параллельная цепь  $PW1$  подключалась к напряжению  $\dot{U}_{AB}$ , а  $PW2$  – к  $\dot{U}_{CB}$  (штриховые линии на рисунке 6.10). Векторная диаграмма на рисунке 2 предписывает заменить  $\dot{U}_{AB}$  фазным напряжением  $-\dot{U}_C$ , а  $\dot{U}_{CB}$  – фазным напряжением  $\dot{U}_A$ . Соответствующие соединения на рисунке 6.11 показаны сплошными линиями. Необходимая искусственная нейтраль образована соединением в звезду параллельных измерительных цепей ваттметров и резистора  $R_B$ , сопротивление которого должно быть равно сопротивлениям параллельных цепей ваттметров.

Величина реактивной мощности находится алгебраическим сложением показаний с последующим умножением этой суммы на  $\sqrt{3}$ :

$$Q = (PW1 + PW2)\sqrt{3}. \quad (6.13)$$

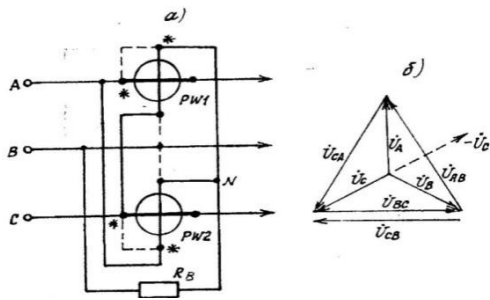


Рисунок 3 – Измерение реактивной мощности методом двух приборов

Последнее необходимо потому, что заменяющие напряжения меньше по модулю заменяемых в  $\sqrt{3}$  раз.

Для технических измерений удобно использовать двухэлементный варметр. Схема включения варметра соответствует рисунку 6.11, добавочный резистор предусмотрен в корпусе прибора, а необходимость умножения на  $\sqrt{3}$  учтена при градуировке.

**Метод трех приборов.** В четырехпроводных цепях реактивную мощность, как и активную, измеряют методом трех приборов (рисунок 6.12). Из векторной диаграммы (рисунок 6.12, б) следует, что фазные напряжения  $\dot{U}_A$  (для  $PW1$ ),  $\dot{U}_B$  (для  $PW2$ ) и  $\dot{U}_C$  (для  $PW3$ ), используемые при измерении активной мощности, следует заменить соответственно на линейные  $\dot{U}_{AB}$ ,  $\dot{U}_{BC}$ ,  $\dot{U}_{CA}$ . Поскольку заменяющие напряжения по модулю больше заменяемых, алгебраическую сумму показаний ваттметров следует разделить на  $\sqrt{3}$ :

$$Q = \frac{PW1 + PW2 + PW3}{\sqrt{3}}$$

Метод может быть использован и в трехпроводных сетях, поскольку нейтральный провод для подключения приборов не используется. Для технических измерений предпочтительней использовать трехэлементные варметры. Подключение измерительных цепей варметра соответствует рисунку 6.12, а необходимость деления на  $\sqrt{3}$  учтена градуировкой прибора.

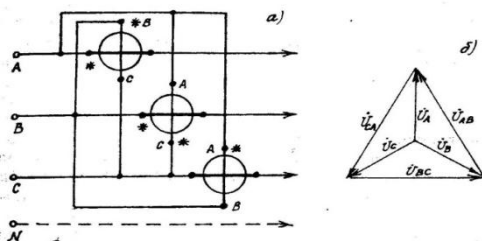


Рисунок 4 – Измерение реактивной мощности методом трех приборов

Следует иметь в виду, что при несимметрии системы питающих напряжений результаты измерений любым из рассмотренных методов будут содержать некоторую методическую погрешность.

## Раздел 5. Информационно-измерительные системы

## Тема 5.1. Понятие об информационно-измерительных системах (ИИС). Использование ИИС в электроэнергетике.

Цифровые измерительные системы (ИИС) представляют измерительную информацию в цифровой форме, преобразуя непрерывный (аналоговый) сигнал в дискретный. В таком сигнале информация содержится не в его интенсивности (например, в величине напряжения или тока), а в числе элементов - электрических импульсов. Совокупность таких элементов образует код, который в дальнейшем расшифровывается и представляется на отсчетном устройстве в виде числа в десятичной системе счисления.

По сравнению с аналоговыми приборами ЦИП обладают рядом достоинств:

- объективность и удобство отсчета и регистрации результатов измерения;
- высокая точность (до 0,001%) при широком диапазоне измеряемых величин;
- высокое быстродействие, обусловленное отсутствием движущихся частей;
- автоматизация процесса измерения – возможность выбора предела, коррекции погрешностей;
- возможность дистанционной передачи измерительной информации без потери точности.

Некоторым недостатком ЦИП является их сложность и относительно высокая стоимость.

На рисунке 4.1. представлена обобщенная функциональная схема цифрового измерительного прибора.

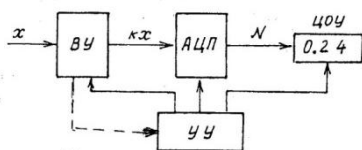


Рисунок 1 – Функциональная схема ИИС

В соответствии со схемой ИИС содержит входное устройство (ВУ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифровое отсчетное устройство (ЦОУ) и управляющее устройство (УУ). ВУ предназначено для масштабного преобразования измеряемой величины или ее преобразования в величину, удобную для дальнейшего использования. Обычно такой величиной является напряжение или частота. АЦП – основной функциональный узел ЦИП. Поступающая на вход АЦП величина преобразуется в цифровой код N. Информация в виде кода поступает в ЦОУ, где отображается в виде числа в привычной десятичной системе. Работой ВУ, АЦП и ЦОУ управляет УУ путем выработки команд, представляющих собой определенную последовательность электрических импульсов.

В приборах с автоматическим выбором предела измерения между ВУ и УУ, помимо прямой, имеется обратная связь (на рисунке 4.1. показана штриховой линией).

### 4.3. Лабораторные работы

Учебным планом не предусмотрено

### 4.4. Практические занятия

№ п/п	Номер раздела дисциплины	Наименование тем практических занятий	Объем (час.)	Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)
1	1.	Прямые и косвенные измерения сопротивлений	7	-
2	1.	Поверка технических амперметров и вольтметров	7	-
3	1.	Электродинамические и ферродинамические ваттметры	6	(2 часа) Разбор механизма ваттметра на детали
4	2.	Масштабные измерительные преобразователи	6	(3 часа) Разбор преобразователей на детали
5	3.	Электронный счетчик электрической энергии	10	-
<b>ИТОГО</b>			<b>36</b>	<b>5</b>

### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная

работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

№, наименование разделов дисциплины	Компетенции Кол-во часов	Компетенция		Σ комп.	t <sub>ср</sub> час	Вид учебных занятий	Оценка результатов
		ПК-2	ОПК- 2				
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Аналоговые измерительные приборы	32	+	+	2	16	Лк, ПЗ, СР	зачет
2. Измерительные преобразователи	30	+	+	2	15	Лк, ПЗ, СР	зачет
3. Электронные аналоговые приборы	28	+	+	2	14	Лк, ПЗ, СР	зачет
4. Измерение мощностей в трехфазных электрических сетях	12	+	+	2	6	Лк, СР	зачет
5. Информационно-измерительные системы	6	+	+	2	3	Лк, СР	зачет
<b>всего часов</b>	<b>108</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>2</b>	<b>54</b>		

**6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Крылова, Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии : учебник / Г.Д. Крылова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Юнити-Дана, 2015. - 671 с.
2. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника : учеб. пособие для вузов / К. К. Ким [и др.]. - Санкт-Петербург: Питер, 2008. - 368 с.
3. Саламатов, Г. П. Основы метрологии и измерение электрических величин: учебное пособие / Г. П. Саламатов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Братск: БрГУ, 2010. - 104 с.

**7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

№	Наименование издания	Вид занятия (Лк, ПЗ)	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./чел.)
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
1.	Крылова, Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии : учебник / Г.Д. Крылова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Юнити-Дана, 2015. - 671 с. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-238-01295-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=114433">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=114433</a> (27.03.2018)	Лк, ПЗ	ЭР	1,0

2.	Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника : учеб. пособие для вузов / К. К. Ким [и др.]. - Санкт-Петербург: Питер, 2008. - 368 с.	Лк, ПЗ	15	1,0
<b>Дополнительная литература</b>				
3.	Саламатов, Г. П. Основы метрологии и измерение электрических величин: учебное пособие / Г. П. Саламатов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Братск: БрГУ, 2010. - 104 с [Электронный ресурс] Режим доступа: <a href="http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Энергетика%20-%20Автоматика/Саламатов%20Г.П.%20Основы%20метрологии%20и%20измерение%20электрических%20величин.2010.pdf">http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Энергетика%20-%20Автоматика/Саламатов%20Г.П.%20Основы%20метрологии%20и%20измерение%20электрических%20величин.2010.pdf</a>	Лк, ПЗ	271+ЭР	1,0
4.	Астапенко, Н. А. Метрология. Измерение электрических величин: методические указания к выполнению лабораторных работ / Н. А. Астапенко. - Братск: БрГУ, 2014. [Электронный ресурс] Режим доступа: <a href="http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Энергетика%20-%20Автоматика/Астапенко%20Н.А.%20Метрология.Измерение%20электрических%20величин.МУ.2014.pdf">http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Энергетика%20-%20Автоматика/Астапенко%20Н.А.%20Метрология.Измерение%20электрических%20величин.МУ.2014.pdf</a>	ПЗ	25+ЭР	1,0
5.	Федеральный закон "О техническом регулировании" от 27.12.2002 N 184-ФЗ. [Электронный ресурс] Режим доступа: <a href="http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/">http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/</a>	Лк	ЭР	1,0
6.	РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения <a href="http://docs.cntd.ru/document/1200115154">http://docs.cntd.ru/document/1200115154</a>	Лк, ПЗ	ЭР	1,0

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ  
[http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).
2. Электронная библиотека БрГУ  
<http://ecat.brstu.ru/catalog>.
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»  
<http://biblioclub.ru>.
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»  
<http://e.lanbook.com>.
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"  
<http://window.edu.ru>.
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru>.
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)  
<https://uisrussia.msu.ru/>.
8. Национальная электронная библиотека НЭБ  
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/>.

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ

Практическое занятие №1 Прямые и косвенные измерения сопротивлений

Цель работы: освоение приемов и методики измерения сопротивлений омметром и методом амперметра и вольтметра

Порядок выполнения:

1. Прямые измерения.

Произвести прямые измерения сопротивления резисторов цифровым омметром. Сравнить полученные результаты с указанным на них допуском, сделать заключение о соответствии. Результаты оформить в виде табл.1.1. Измерить сопротивление обмоток электромагнитных реле, сопоставить результат измерения с имеющимися номинальными данными.

2. Косвенные измерения.

Используя имеющиеся на стенде приборы, собрать схему для измерения сопротивления обмотки электромагнитного реле. Результаты занести в табл. 1.2. Произвести оценку величины погрешности косвенного измерения, используя данные о точности приборов.

3. Прямые измерения образцов проволоки из материала с высоким удельным сопротивлением.

Собрать схему для измерения сопротивления отрезка проволоки. Произвести измерения сопротивления, рассчитать значение удельного сопротивления, по справочнику определить материал проволоки. Результаты занести в таблицу 1.3.

Форма отчетности:

Результаты измерений и вычислений оформляются в форме отчета. Отчет должен содержать следующие пункты:

1. Название и цель работы.
2. Краткие сведения о методах и средствах измерения.
3. Прямые измерения (используемый прибор, результаты измерений, заключение).
4. Косвенные измерения (используемые приборы, схема измерения, результаты, оценка погрешности).
5. Определение удельного сопротивления (используемые приборы, схема измерения, результаты, заключение).
6. Выводы.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по теме 1.1,1.2 раздела 1.

Основная литература

[1,2]

Дополнительная литература

[3,4,5,6]

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назовите виды измерений.
2. Перечислите методы измерений.
3. Назовите причины возникновения погрешности прямых и косвенных измерений.
4. Что такое инструментальная погрешность.
5. Назовите основные свойства материалов проволоки с высоким удельным сопротивлением и область их применения.

## **Практическое занятие №2 Поверка щитовых приборов**

Цель: освоение методики поверки технических амперметров и вольтметров.

Порядок выполнения:

1. Ознакомится с устройством поверочного стенда: назначением и расположением клемм, регуляторов, выключателей.

2. Из числа имеющихся на стенде образцовых приборов, выбрать те, которые необходимы для поверки предложенных преподавателем технических амперметра и вольтметра.

3. Произвести внешний осмотр поверяемого прибора. Убедится в отсутствии повреждений корпуса и стекла.

4. Установить прибор в рабочее положение. Убедится, что его указатель находится на нулевой отметке. При необходимости произвести коррекцию нуля.

5. Собрать схему для поверки амперметра (рис.2.1 а, б).

6. Установить ручки регуляторов в крайнее левое положение и предъявить схему для проверки.

7. Включить стенд. Плавно увеличивая величину тока, установить указатель поверяемого прибора последовательно на все оцифрованные деления шкалы, фиксируя при этом показания образцового прибора. Достигнув конечного значения, повторить замеры для тех же отметок при понижении тока. В процессе опыта следить, чтобы указатель поверяемого прибора приближался к нужной отметке только слева при повышении тока ( ↑ - прямое направление) и только справа при понижении тока ( ↓ - обратное направление). Результаты измерений и вычислений оформить табл.2.1.

8. Собрать схему для поверки вольтметра (рис.2.2 а, б). Произвести поверку вольтметра. Результаты оформить в виде таблицы, аналогичной табл. 2.1.

9. Сформулировать заключение о результатах поверок.

#### Форма отчетности:

Результаты измерений и вычислений оформляются в форме отчета. Отчет должен содержать следующие пункты:

1. Название и цель работы.
2. Краткие сведения о поверке приборов.
3. Перечень используемых приборов.
4. Поверка амперметра (схема, таблица, диаграмма поправок, заключение о пригодности прибора).
5. Поверка вольтметра (схема, таблица, диаграмма поправок, заключение о пригодности прибора).
6. Выводы по работе.

#### Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по теме 1.1,1.2 раздела 1.

Основная литература

[1,2]

Дополнительная литература

[3,4,5,6]

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что называется поверкой прибора?
2. Назовите причины, вызывающие необходимость поверки.
3. Что входит в объем эксплуатационных поверок?
4. Какие погрешности определяются при поверке приборов?
5. Назовите условия определения погрешности при проведении поверки.

### **Практическое занятие № 3. Градуировка шкал щитовых приборов**

Цель: освоение методики градуировки шкал щитовых амперметров и вольтметров с магнитоэлектрическими и электромагнитными измерительными механизмами.

#### Порядок выполнения:

1. Ознакомиться с устройством стенда для градуировки шкалы приборов: назначением и расположением клемм, регуляторов, выключателей.
2. Из числа имеющихся на стенде образцовых приборов выбрать те, которые необходимы для градуировки предложенных преподавателем шкал щитовых амперметра и вольтметра.
3. Собрать схему для градуировки шкалы вольтметра (рис.3.2).
4. Убедиться, что указатели используемых приборов находятся на нулевых отметках. При необходимости произвести коррекцию нуля.
5. Установить ручки регуляторов в крайнее левое положение и предъявить схему для проверки.
6. Включить стенд. Плавно увеличивая величину напряжения от 0 до 250 В, устанавливая указатель образцового вольтметра последовательно на деления через каждые 10 В. При этом необходимо отмечать карандашом на шкале щитового прибора первоначальные места для делений (прямого направления). Следует помнить, что указатель образцового прибора должен приближаться к нужной отметке только слева.
7. Повторить замеры для тех же делений образцового прибора. При понижении напряжения от 250 В до 0, подходя к нужной отметке только справа, и отмечая на шкале щитового прибора места для делений (обратного направления).
8. Снять шкалу с прибора и по результатам опытов отредактировать деления.
9. Собрать схему для градуировки амперметра (рис.3.3). Произвести градуировку шкалы амперметра аналогично шкале вольтметра, начиная от 1 А до 5 А, выставляя указатель образцового прибора через каждые 0,2 А.

Сформулировать выводы о результатах градуировки.

#### Форма отчетности:

Результат выполнения работы представляется и оформляется в форме отчета. Отчет должен содержать следующие пункты:

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень используемых приборов.
3. Краткие сведения о шкалах электроизмерительных приборов.
4. Градуировка шкалы вольтметра (схема, порядок работы, отградуированная шкала).
5. Градуировка шкалы амперметра (схема, порядок работы, отградуированная шкала).
6. Выводы по работе.

#### Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по теме 1.1,1.2 раздела 1.

Основная литература

[1,2]

Дополнительная литература

[3,4,5,6]



#### Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Строение шкалы.
2. В чем различие между шкалами магнитоэлектрических и электромагнитных приборов?
3. Что такое диапазон показаний и диапазон измерений? Всегда ли они совпадают?
4. Какие условные обозначения наносят на шкалы приборов?

#### **Практическое занятие № 4. Масштабные измерительные преобразователи.**

Цель: изучение масштабных преобразователей и особенностей их использования

Порядок выполнения:

1. Собрать схему измерения переменного тока с использованием амперметра прямого включения РА1, трансформатора тока ТА и лабораторного амперметра РА2 с пределом измерения 5 А (рис.5.4).
2. Установить коэффициент трансформации ТА в соответствии с пределом измерения РА1.
3. Включить стенд. Пользуясь регулятором, установить значение тока  $I_1$  в пределах 2/3 шкалы РА1. Снять показания приборов и занести в табл. 5.1, где  $I_1'$  – показания РА1, а  $I_2$  - показания РА2,  $I_1'' = I_2 \cdot K_{\text{ном}}$ .
4. Установить величину тока  $I_1'$  близкую к пределу амперметра РА1. Внести в табл.5.1 результаты измерений.
5. Рассчитать пределы допустимых относительных погрешностей  $\delta_I'$  и  $\delta_I''$ , результаты внести в табл. 5.1.
6. Собрать схему для измерения постоянного тока с использованием амперметра РА3, шунта RS и милливольтметра РV1 (рис.5.5).
7. Произвести измерения двух значений постоянного тока. Результаты оформить табл. 5.2.
8. Рассчитать пределы допустимых погрешностей  $\delta'$  и  $\delta''$ .
9. Рассчитать величину сопротивления добавочного резистора для магнитоэлектрического вольтметра с пределом измерения 10 В. Используя в качестве образцового цифровой вольтметр, оценить пределы допустимой погрешности на двух отметках шкалы.

Форма отчетности:

Результат выполнения работы представляется и оформляется в виде отчета. Отчет должен содержать следующие пункты:

1. Наименование и цель работы.
2. Краткие сведения о применении используемых масштабных преобразователей.
3. Измерение переменного тока.
4. Измерение постоянного тока.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам 2.1, 2.3 раздела 2.

Основная литература

[1,2]

Дополнительная литература

[3,4,5,6]

#### Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Для каких целей используют масштабные преобразователи?
2. Каковы преимущества измерения переменного тока с использованием трансформаторов тока перед приборами прямого включения?
3. Чем вызвана погрешность трансформатора тока и как она нормируется?
4. С какими измерительными приборами используют шунты?
5. Покажите схему многопредельного вольтметра с переключаемыми добавочными резисторами. Измерительный механизм с током полного отклонения 100 мкА, пределы измерения 3, 15, 30 В.

#### **Практическое занятие № 5. Электронные счетчики электрической энергии**

Цель: изучение особенностей устройства и функционирования электронных счетчиков, поверка однофазного счетчика

Порядок выполнения:

1. Изучить устройство и функционирование счетчика. Ознакомиться с его технической характеристикой.
2. Вычислить номинальную постоянную счетчика.
3. Включить стенд. Установить напряжение, равное номинальному и величину тока 10А. С целью стабилизации режима необходимо прогреть измерительную установку в течение не менее 5 минут.
4. Установить величину тока равную 2 А, записать показание ваттметра. Обнулить секундомер. На счетчике импульсов установить  $N=32$ .
5. Включить счетчик импульсов. По окончании счета с появлением звукового сигнала выключить его и зафиксировать время счета по показанию секундомера. Повторить опыт еще дважды, вычислить среднее значение времени счета и действительную постоянную.
6. Произвести аналогичные действия при величинах тока 5 и 10А. Результаты измерений и вычислений занести в табл.6.1.

7. Сформулировать заключение о результатах поверки и выводы по работе.

Форма отчетности:

Результат выполнения работы представляется и оформляется в виде отчета. Отчет должен содержать следующие пункты:

1. Наименование и цель работы.
2. Краткое описание и характеристика счетчика ЦЭ2726.
3. Перечень используемых приборов.
4. Схема поверки счетчика и ее особенности.
5. Результаты поверки (перечень действий и итоговая таблица)
6. Выводы

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по теме 3.2 раздела 3.

Основная литература

[1,2]

Дополнительная литература

[3,4,5,6]

Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Назовите преимущества электронных счетчиков.
2. Какие факторы вызывают дополнительную погрешность счетчиков? Какова степень их влияния на различные счетчики? Чем может быть вызвана погрешность при нахождении действительной постоянной счетчика?
3. Какие дополнительные (сервисные) функции могут быть реализованы в электронных счетчиках?
4. В чем преимущество раздельного питания измерительных цепей приборов при поверке счетчика?

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

- ОС Windows 7 Professional
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
- OpenOffice
- LibreOffice
- Adobe Reader
- doPDF
- 7-Zip
- Ай-Логос Система дистанционного обучения
- Программное обеспечение "Визуальная студия тестирования"

## **11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ПЗ</i>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Лк	Лаборатория измерительной техники и силовых преобразователей	Плакаты, комплекс нормативных документов в области обеспечения единства измерений, стандартизации и сертификации	№№ 1 - 9
ПЗ	Лаборатория измерительной техники и силовых преобразователей	8 учебно-лабораторных стендов для модульного выполнения учебных работ. Цифровые мультиметры В7-50. Регулируемые однофазные автотрансформаторы ЭНЕРГИЯ ТОGC2-1к (1кВА) электронные счетчики электрической энергии типа ЦЭ2726, СЕ101	№№ 1-5
		Магнитоэлектрические амперметры типа М109, М265М; магнитоэлектрические вольтметры М253, М367	
		Электромагнитные амперметры типа Э30, Э378;	

		электромагнитные вольтметры Э59, Э392	
		Электродинамические ваттметры типа Д772, Д539	
		Наружные шунты 75ШС-75мВ	
		Лабораторные трансформаторы тока И54М, шинный трансформатор тока ШТТ 0,66-III -1, токовые клещи АТК-2021В-1к	
		Учебно-лабораторный комплекс ИЭ СЭС-1 – Н – Р	
СР	Читальный зал №3	Оборудование 15-CPU 5000/RAM 2Gb/HDD (Монитор TFT 19 LG 1953S-SF); принтер HP LaserJet P3005	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО  
ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-2	способность обрабатывать результаты экспериментов	1. Аналоговые измерительные приборы	1.1. Магнитоэлектрические приборы: принцип работы и устройство магнитоэлектрического измерительного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение магнитоэлектрических приборов	Вопросы к зачету №№ 1,2
			1.2. Электромагнитные приборы: принцип работы и устройство электромагнитного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение электромагнитных приборов.	Вопросы к зачету №№ 3,4
			1.3. Электро- и ферродинамические приборы: использование измерительных цепей. Ваттметры в цепях постоянного и переменного тока.	Вопросы к зачету №№ 5,6
		2. Измерительные преобразователи	2.1. Виды масштабных измерительных преобразователей. Внутренние и наружные шунты и их использование	Вопросы к зачету №№ 7,8
			2.2. Добавочные резисторы и делители напряжения.	Вопросы к зачету №№ 9,10
			2.3. Измерительные трансформаторы напряжения и тока.	Вопросы к зачету №№ 11,12
		3. Электронные аналоговые приборы	3.1. Функциональная схема электронного аналогового прибора (ЭАИП) и его метрологические возможности. Устройство и применение выпрямительных приборов. Использование информации при измерении несинусоидальных величин. Электронные вольтметры переменного и постоянного тока.	Вопросы к зачету №№ 13,14,15,16
			3.2. Электронные ваттметры и счетчики электрической энергии.	Вопрос к зачету № 17
			3.3. Функциональная схема цифровых измерительных приборов (ЦИП). Электронные узлы ЦИП. Цифровые измерители интервалов времени и цифровые частотомеры. Вольтметры последовательного счета	Вопросы к зачету №№ 18,19,20,21

		<b>4. Измерение мощностей в трехфазных электрических сетях</b>	4.1. Измерение активной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях	Вопрос к зачету №22
			4.2. Измерение реактивной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях	Вопрос к зачету № 23
		<b>5. Информационно-измерительные системы</b>	5.1. Понятие об информационно-измерительных системах (ИИС). Использование ИИС в электроэнергетике.	Вопросы к зачету №№ 24,25
ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	<b>1. Аналоговые измерительные приборы</b>	1.1. Магнитоэлектрические приборы: принцип работы и устройство магнитоэлектрического измерительного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение магнитоэлектрических приборов	Вопросы к зачету №№ 1,2
			1.2. Электромагнитные приборы: принцип работы и устройство электромагнитного механизма, уравнение преобразования, особенности и применение электромагнитных приборов.	Вопросы к зачету №№ 3,4
			1.3. Электро- и ферродинамические приборы: использование измерительных цепей. Ваттметры в цепях постоянного и переменного тока.	Вопросы к зачету №№ 5,6
		<b>2. Измерительные преобразователи</b>	2.1. Виды масштабных измерительных преобразователей. Внутренние и наружные шунты и их использование	Вопросы к зачету №№7,8
			2.2. Добавочные резисторы и делители напряжения.	Вопросы к зачету №№ 9,10
			2.3. Измерительные трансформаторы напряжения и тока.	Вопросы к зачету №№ 11,12
		<b>3. Электронные аналоговые приборы</b>	3.1. Функциональная схема электронного аналогового прибора (ЭАИП) и его метрологические возможности. Устройство и применение выпрямительных приборов. Использование информации при измерении несинусоидальных величин. Электронные вольтметры переменного и постоянного тока.	Вопросы к зачету №№ 13,14,15,16
			3.2. Электронные ваттметры и счетчики электрической энергии.	Вопрос к зачету № 17
			3.3. Функциональная схема цифровых измерительных приборов (ЦИП). Электронные узлы ЦИП. Цифровые измерители интервалов времени и цифровые частотомеры. Вольтметры последовательного счета	Вопросы к зачету №№ 18,19,20,21

		4. Измерение мощностей в трехфазных электрических сетях	4.1. Измерение активной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях	Вопрос к зачету № 22
			4.2. Измерение реактивной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях	Вопрос к зачету № 23
		5. Информационно-измерительные системы	5.1. Понятие об информационно-измерительных системах (ИИС). Использование ИИС в электроэнергетике.	Вопросы к зачету №№ 24,25

## 2. Вопросы к зачету

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела	
	Код	Определение			
1	2	3	4	5	
1.	ПК-2	способность обрабатывать результаты экспериментов	1. Принцип работы и устройство магнитоэлектрического измерительного механизма	1. Аналоговые измерительные приборы	
			2 Уравнение преобразования, особенности и применение магнитоэлектрических приборов		
			3. Принцип работы и устройство электромагнитного механизма		
			4. Уравнение преобразования, особенности и применение электромагнитных приборов.		
			5. Использование измерительных цепей электро- и ферродинамических приборов		
			6. Ваттметры в цепях постоянного и переменного тока		
			7. Виды масштабных измерительных преобразователей.		2. Измерительные преобразователи
			8. Внутренние и наружные шунты и их использование		
			9. Добавочные резисторы		
			10. Делители напряжения.		
			11. Измерительные трансформаторы тока.		
			12. Измерительные трансформаторы напряжения	3. Электронные аналоговые приборы	
			13. Функциональная схема электронного аналогового прибора (ЭАИП) и его метрологические возможности.		
			14. Устройство и применение выпрямительных приборов		
			15. Использование информации при измерении несинусоидальных величин.		
			16. Электронные вольтметры переменного и постоянного тока		
			17. Электронные счетчики электрической энергии		
			18. Функциональная схема цифровых измерительных приборов (ЦИП).		
			19. Электронные узлы ЦИП		
			20. Цифровые измерители интервалов времени и цифровые частотомеры		
			21. Вольтметры последовательного счета		
			22. Измерение активной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях		4. Измерение мощностей в трехфазных
			23. Измерение реактивной мощности и		

			энергии в трехфазных электрических сетях	электрических сетях
			24. Понятие об информационно-измерительных системах (ИИС	5. Информационно-измерительные системы
			25. Использование ИИС в электроэнергетике.	
2.	ОПК-2	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач	1. Принцип работы и устройство магнитоэлектрического измерительного механизма	1. Аналоговые измерительные приборы
			2. Уравнение преобразования, особенности и применение магнитоэлектрических приборов	
			3. Принцип работы и устройство электромагнитного механизма	
			4. Уравнение преобразования, особенности и применение электромагнитных приборов.	
			5. Использование измерительных цепей электро- и ферродинамических приборов	
			6. Ваттметры в цепях постоянного и переменного тока	2. Измерительные преобразователи
			7. Виды масштабных измерительных преобразователей.	
			8. Внутренние и наружные шунты и их использование	
			9. Добавочные резисторы	
			10. Делители напряжения.	
			11. Измерительные трансформаторы тока.	3. Электронные аналоговые приборы
			12. Измерительные трансформаторы напряжения	
			13. Функциональная схема электронного аналогового прибора (ЭАИП) и его метрологические возможности	
			14. Устройство и применение выпрямительных приборов	
			15. Использование информации при измерении несинусоидальных величин.	
			16. Электронные вольтметры переменного и постоянного тока	
			17. Электронные ваттметры и счетчики электрической энергии	
			18. Функциональная схема цифровых измерительных приборов (ЦИП).	
			19. Электронные узлы ЦИП	
			20. Цифровые измерители интервалов времени и цифровые частотомеры	
21. Вольтметры последовательного счета	4. Измерение мощностей в трехфазных электрических сетях			
22. Измерение активной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях				
23. Измерение реактивной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях	5. Информационно-измерительные системы			
24. Понятие об информационно-измерительных системах (ИИС				
25. Использование ИИС в электроэнергетике.				

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> (ПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– математические модели основных физических явлений и законов, положенные в основу работы электроизмерительных приборов;</li> </ul> <p>(ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные физические явления и законы, положенные в основу работы электроизмерительных приборов и их математическую модель;</li> </ul> <p><b>Уметь</b> (ПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выявлять физическую сущность явлений и процессов в электроизмерительных устройствах и выполнять применительно к ним технические расчеты;</li> </ul> <p>(ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять методы измерения физических величин при решении инженерных задач;</li> </ul> <p><b>Владеть</b> (ПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами анализа физических явлений в электроизмерительных устройствах и системах;</li> </ul> <p>(ОПК-2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методиками выполнения измерений, анализа физических явлений в электроизмерительных устройствах и системах</li> </ul>	<p><b>зачтено</b></p>	<p>Обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал, дал правильные ответы на дополнительные вопросы</p>
	<p><b>не зачтено</b></p>	<p>Обучающийся допустил существенные ошибки при ответе на вопросы, на дополнительные вопросы давал неправильные ответы; все вышеуказанные разделы не усвоены.</p>

#### 1. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Спец измерения направлена на изучение математических моделей, основных физических явлений и законов, положенных в основу работы электроизмерительных приборов; на получение теоретических знаний и практических навыков по использованию технических средств для измерения основных параметров электроэнергетических и электротехнических объектов и систем и происходящих в них процессов, для их дальнейшего использования в практической деятельности.

Изучение дисциплины Спец измерения предусматривает:

- лекции,
- практические занятия,
- самостоятельную работу,



– зачет.

В ходе освоения раздела 1 Аналоговые измерительные приборы студенты должны уяснить устройство, принцип работы, уравнения преобразования магнитоэлектрических, электромагнитных, электродинамических и ферродинамических аналоговых измерительных приборов, знать особенности применения полученной измерительной информации.

В ходе освоения раздела 2 Измерительные преобразователи студенты должны уяснить назначение и применение масштабных преобразователей, научиться работать с ними и правильно использовать полученную информацию.

В ходе освоения раздела 3 Электронные аналоговые приборы студенты должны уяснить функциональные схемы, электронные узлы, особенности использования информации, полученной с помощью электронных аналоговых приборов.

В ходе освоения раздела 4 Измерение мощностей в трехфазных электрических сетях студенты должны знать схемы подключения индукционных и электронных счетчиков электрической энергии, их передаточные отношения и постоянные коэффициенты.

В ходе освоения раздела 5 Информационно-измерительные системы студенты должны уяснить назначение и практическую значимость полученной информации от информационно-измерительных систем в электроэнергетике.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется на первом этапе обратить внимание на основные законы физики, математический понятийный аппарат.

Овладение ключевыми понятиями является основой для успешного усвоения работы всех электроизмерительных приборов и систем.

При подготовке к зачету рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам:

1. Принцип работы и устройство магнитоэлектрического измерительного механизма
2. Уравнение преобразования, особенности и применение магнитоэлектрических приборов
3. Принцип работы и устройство электромагнитного механизма
4. Уравнение преобразования, особенности и применение электромагнитных приборов.
5. Использование измерительных цепей электро- и ферродинамических приборов
6. Ваттметры в цепях постоянного и переменного тока
7. Виды масштабных измерительных преобразователей.
8. Внутренние и наружные шунты и их использование
9. Добавочные резисторы
10. Делители напряжения.
11. Измерительные трансформаторы тока.
12. Измерительные трансформаторы напряжения
13. Функциональная схема электронного аналогового прибора (ЭАИП) и его метрологические возможности
14. Устройство и применение выпрямительных приборов
15. Использование информации при измерении несинусоидальных величин.
16. Электронные вольтметры переменного и постоянного тока
17. Электронные ваттметры и счетчики электрической энергии
18. Функциональная схема цифровых измерительных приборов (ЦИП).
19. Электронные узлы ЦИП
20. Цифровые измерители интервалов времени и цифровые частотомеры
21. Вольтметры последовательного счета
22. Измерение активной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях
23. Измерение реактивной мощности и энергии в трехфазных электрических сетях
24. Понятие об информационно-измерительных системах (ИИС)
25. Использование ИИС в электроэнергетике.

В процессе проведения практических занятий происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков реализации представления об электроизмерительных приборах, масштабных преобразователях, приборах учета электрической энергии, правилах проведения процедуры поверки и калибровки измерительных приборов.

Самостоятельную работу необходимо начинать с изучения теоретического материала.

В процессе консультации с преподавателем прорабатывается материал, вызывающий трудность в восприятии и понимании.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине

литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий в интерактивной форме (в виде лекции с разбором конкретных ситуаций) в сочетании с внеаудиторной работой.

## **АННОТАЦИЯ рабочей программы дисциплины**

### **Спец измерения**

#### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является: формирование знаний и умений, необходимых для квалифицированного метрологического обеспечения процессов производства и потребления электроэнергии. Электроэнергетика опирается на измерении электрических величин. Огромный объем информации о режимах электроэнергетических объектов станет доступным и полезным только при условии правильности проведения измерений и обеспечения их единства.

Задачей изучения дисциплины является: знать основные принципы измерений, характеристики и свойства измерительной техники, методы измерения электрических величин.

#### **2. Структура дисциплины**

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк - 18 ч; ПЗ - 36 ч; СР - 54 ч

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

- 1- Аналоговые измерительные приборы
- 2 - Измерительные преобразователи
- 3 - Электронные аналоговые приборы
- 4 - Измерение мощностей в трехфазных электрических сетях
- 5 - Информационно-измерительные системы

#### **3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:  
ПК-2 Способность обрабатывать результаты экспериментов;  
ОПК-2 Способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении экспериментальных задач

#### **4. Вид промежуточной аттестации: зачет**

**Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год**

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,  
(разработчик)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника от «03» сентября 2015 г. № 955 и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» ноября 2015г. №701, заочной формы обучения от «12» ноября 2015г. №701; и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» июня 2016г. №429, заочной формы обучения от «6» июня 2016г. №429 для заочной (ускоренной) формы обучения от «6» июня 2016г. №429; и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «6» марта 2017г. №125 , заочной формы обучения от «6» марта 2017г. №125 для заочной (ускоренной) формы обучения от «4» апреля 2017г. №203; и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. №130, заочной формы обучения от «12» марта 2018г. №130.

**Программу составил:**

Астапенко Н.А. ст.преподаватель кафедры ЭиЭ \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ЭиЭ

от «\_\_» \_\_декабря\_\_ 2018 г., протокол №\_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой ЭиЭ \_\_\_\_\_

Ю.Н.Булатов

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий выпускающей кафедрой \_\_\_\_\_

Ю.Н.Булатов

Директор библиотеки \_\_\_\_\_

Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией ФЭиА

от «\_\_» \_\_декабря\_\_ 2018 г., протокол №\_\_\_\_\_

Председатель методической комиссии факультета \_\_\_\_\_

А.Д.Ульянов

**СОГЛАСОВАНО:**

Начальник

учебно-методического управления \_\_\_\_\_

Г.П. Нежевец

Регистрационный №\_\_\_\_\_